

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії транспорту та архітектури  
Кафедра технології машинобудування

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на здобуття ступеня вищої освіти магістра**

Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі  
Назва теми

«Шестерня конічна 12.021» з використанням верстатів з ЧПК

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Галузь знань 13 механічна інженерія  
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 131 прикладна механіка  
Шифр і назва спеціальності  
Назва

Освітня програма «технології машинобудування»  
Назва

Шифр ДРМ.ФІТА.ПМ.24.05.ПЗ

Виконав студент 2 курсу група ПМТм-23-1  
Шифр

ГВ  
Підпис

Вадим ГАЛКІН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доцент  
Науковий ступінь, звання

[Підпис]  
Підпис

Сергій БИСЬ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент

[Підпис]  
Підпис

Сергій БИСЬ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
Завідувач кафедри  
технології машинобудування  
Назва

[Підпис]  
Підпис

Віталій ТКАЧУК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата « 27 » 12 2024

Хмельницький 20 24

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії транспорту та архітектури

Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Галузь знань 13 механічна інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 131 прикладна механіка

Шифр і назва

Освітня програма «технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ

 Віталій ТКАЧУК

2 . 09 . 2024

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Галкіну Вадиму Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема дипломної роботи Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Шестерня конічна 12.021» з використанням верстатів з ЧПК

керівник роботи Бись Сергій Степанович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 серпня 2024 р. № 60

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 10 грудня 2024

3 Вихідні дані до проєкту (роботи) кресленик деталі шестерня конічна 12.021 та технічні вимоги до її виготовлення, обсяг випуску 850 шт.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Загальний розділ
2. Технологічний розділ
3. Конструкторський розділ
4. Дослідницький розділ
5. Охорона праці

5 Перелік графічного матеріалу: кресленик деталі із 3D моделлю (1 лист A1); графотехнологія (1 лист A1); кресленик карти наладки (1 лист A1); кресленик верстатного пристрою (1 лист A1); кресленик контрольного пристрою (1 лист A1)



# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Галкін Вадим Володимирович на захист дипломного проєкту (роботи)  
(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Шестерня конічна 12.021» із використанням верстатів з ЧПК

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету



ОЛЕГ ПОЛІЩУК

(ім'я, прізвище)

### ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Галкін В. В. за період навчання на факультеті інженерії, транспорту та архітектури з 2023 по 2023 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 33,33 %, задовільно 66,67 %. шкалою ЄКТС: А 0,00 %, В 6,25 %, С 37,50 %, D 31,25 %, Е 25,00 %.

Методист факультету

[Signature]

(підпис)

(ім'я, прізвище)

### ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент

Галкін Вадим

виконав дипломний проєкт у повному об'ємі і вчасно. При виконанні продемонстрував здатність використовувати знання, набуті на проєкції.

Оцінка дипломного проєкту (роботи)

добре

Керівник дипломного проєкту

[Signature]

(підпис)

Бисєв С.С.

(ім'я, прізвище)

" 25 " 12 2024 р.

### ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Галкін В. В. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

технології машинобудування

(назва)

[Signature] В. Трачук

(підпис, ім'я, прізвище)

" 25 " 12 2024 р.

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ ТМ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатами звіту/звітів подібності щодо роботи, продукованими програмно-технічним засобом (ами) перевірки текстів на плагіат:

Назва кваліфікаційної роботи Розроблення механічного процесу  
 Автор Ткачук В.В. 12.021 з використанням верстатів, ЧПК.

Освітня програма механічної машинобудування  
 Спеціальність: 131 - Прикладна механіка

Науковий керівник: Гусєв Серій Степанович

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	+
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:  
Анті - Плагіатом 5%  
Коефіцієнт подібності 1: 23,2%  
Коефіцієнт подібності 2: 12,5%

Дата

Завідувач кафедри Ткачук В.П.  
 Підпис Ім'я, прізвище

Гарант освітньої програми Ткачук В.П.  
 Підпис Ім'я, прізвище

Керівник кваліфікаційної роботи Гусєв С.С.  
 Підпис Ім'я, прізвище

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студента Галкіна Вадима

Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Шестерня конічна 12.021» із використанням верстатів з ЧПК

Тема кваліфікаційної роботи, та її зміст відповідають обраній спеціальності. Кваліфікаційна робота має необхідні розділи відповідно до завдання.

У своїй роботі студент проаналізував конструкцію обраної деталі, її технологічність та визначив тип виробництва.

В технологічному розділі проведено аналіз існуючого технологічного процесу, вибір обладнання з ЧПК, обґрунтування параметрів обробки, а також моделювання та оцінку ефективності запропонованих змін. Представлено порівняння результатів впровадження нових технологій із традиційними методами обробки, що підтвердило доцільність впровадження верстатів з ЧПК у виробничий процес.

В конструкторському розділі роботи спроектовано пристрій для контролю радіального биття  $\varnothing 55$  та бока - 6. Крім цього, також проведено проектування верстатного пристрою для зубостругальної операції.

Результати технологічних та конструкторських рішень дозволяють покращити точність виготовлення, скоротити час обробки та зменшити витрати на виробництво. Запропоновані елементи можуть бути використані у машинобудуванні для вдосконалення технологій виробництва деталей складної форми.

### Загальний висновок та оцінка

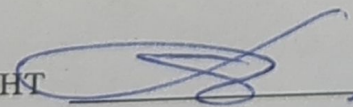
Всі рішення підкріплені розрахунками і заслуговують позитивної оцінки.

Графічна частина виконана у відповідності з вимогами ЕСКД та ДСТУ, розділи розрахунково-пояснювальної записки оформлені з виконанням основних вимог ЕСТД та ДСТУ на досить високому рівні.

Вагомих кваліфікаційної роботи не виявлено.

Кваліфікаційна робота виконана згідно завдання, у повному обсязі та на достатньому технічному рівні і заслуговує на оцінку «добре».

Рецензент

 доц. кар. ТАМ, с. т. л. Бабак О. П.

«25» грудня 2024 р.

Завідувачу кафедри ТМ

Тнагуку В.Р.

здобувача вищої освіти (студента  
ПШБ, факультет, «курс», «група»)

Галкіна В.В.

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на академічний плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та/або Anti-Plagiarism) і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

20.12.24

дата

ГР

підпис

## ABSTRACT:

The topic of the work "Development of the technological process for manufacturing the component "Bevel Gear 12.021" using CNC machines

The explanatory note consists of 102 pages and appendices containing specifications of drawings, technological documentation, and a program for the CNC machine. The graphical component of the work comprises 9 sheets in A1 format. According to the task, the process of mechanical processing was carried out to produce the 356-78-14 casing with an annual production program of 5,000 pieces.

The explanatory note includes all necessary calculations and sections corresponding to the requirements of the task. The general section analyzes technical conditions based on the functional purpose of the product, factory technological processes, and recent advancements in manufacturing similar products. This forms the initial tasks that are elaborated on in subsequent parts of the project.

A mechanized device with pneumatic drive was developed for securing workpieces during vertical milling operations for processing cylindrical surfaces and holes, along with a monitoring device.

Measures for occupational health and safety, as well as environmental protection, have been devised.

The author of the work

Vadym GALKIN

2024 p.

/Signature/ Date

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ	8
1.1 Стан питання та постановка задач дипломної роботи	8
1.2 Аналіз об'єкта виробництва	8
1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі	10
1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва	11
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ	12
2.1 Вибір виду і способу отримання заготовки	12
2.2 Розрахунок припусків під обробку	16
2.3 Вибір технологічних баз	19
2.4 Проектування технологічного маршруту оброблення деталі	26
2.4.1 Технологічний маршрут механічної обробки деталі	26
2.4.2 Вибір засобів технологічного оснащення	27
2.5 Розрахунок режимів різання	36
2.6 Нормування технологічного процесу механічної обробки	40
2.7 Розроблення в САМ ESPRIT програми оброблення на верстаті	41
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	45
3.1 Проектування верстатного пристрою для	45
3.1.1 Вибір схеми базування та способу закріплення деталі в пристрої	46
3.1.2 Розрахунок необхідних сил закріплення деталі	47
3.2 Проектування контрольно-вимірювального пристрою	51
3.2.1 Розрахунок пристрою на точність	53
3.2.2 Призначення та опис роботи	54
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ	56
4.1 Експериментальні дослідження коливань і точності обробки при багатоінструментному тонкому розточуванні	56
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	68
5.1 Заходи по забезпеченню нешкідливих та безпечних умов праці	

при роботі на металообробних верстатах	68
5.2 Загальні вимоги безпеки при експлуатації металообробних верстатів	75
ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	83
ДОДАТКИ	85

## ВСТУП

Сучасний розвиток машинобудування неможливий без впровадження передових технологій і методів автоматизації виробничих процесів. Конкуренція на ринку вимагає від підприємств забезпечення високої якості продукції, зниження витрат на її виробництво та скорочення часу виготовлення. Одним із ключових елементів досягнення цих цілей є використання верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК), які дозволяють досягти високої точності обробки, знизити вплив людського фактора та підвищити продуктивність.

Деталь «Шестерня конічна 12.021» є важливим елементом багатьох машинобудівних механізмів. Вона повинна відповідати високим вимогам щодо геометричних параметрів, міцності та зносостійкості. Традиційні технологічні процеси виготовлення таких деталей часто мають низку недоліків, зокрема підвищені витрати часу на обробку та залежність якості продукції від кваліфікації оператора.

У цій магістерській роботі розглянуто можливість удосконалення технологічного процесу виготовлення конічної шестерні шляхом впровадження сучасного обладнання з ЧПК. Зокрема, досліджуються оптимальні режими різання, інструментальні стратегії, а також методи підвищення економічної ефективності виробництва.

Метою дослідження є розробка удосконаленого технологічного процесу виготовлення шестерні «12.021», який забезпечить підвищення якості продукції, зниження собівартості та покращення виробничої ефективності. Досягнення цієї мети сприятиме вирішенню актуальних завдань машинобудівної галузі та підвищенню конкурентоспроможності вітчизняного виробництва.

## 1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Стан питання та постановка задач дипломної роботи

Метою даної дипломної роботи є вдосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Шестерня конічна 12.021» із використанням високопродуктивних багатоцільових верстатів із ЧПК. Для досягнення цієї мети передбачено виконання наступних завдань:

- аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення конічної шестерні та визначення його основних недоліків.
- вибір прогресивного варіанту заготовки, що забезпечить зниження витрат та покращення механічних властивостей деталі.
- розробка удосконаленого технологічного процесу механічної обробки із застосуванням верстатів із ЧПК.
- вибір оптимальних конструкцій ріжучих інструментів та встановлення раціональних режимів різання.
- розрахунок економічної ефективності запропонованих рішень, включаючи зниження трудомісткості та собівартості виробництва.
- розробка заходів щодо забезпечення безпеки життєдіяльності та екологічності процесу.

Виконання цих завдань дозволить досягти зниження витрат на виробництво деталі, підвищити якість продукції та забезпечити відповідність технологічного процесу сучасним вимогам автоматизованого виробництва.

#### 1. Базова інформація

- кресленик деталі;
- матеріал деталі – сталь 12ХНЗ ДСТУ 8781:2018
- Програма випуску деталі N = 850 шт.
- режим роботи підприємства – однозмінний.

#### 2. Керівна інформація - стандарт підприємства ДСТУ 1.0-93

#### 3. Довідкова інформація [2, 4].

## 1.2 Аналіз об'єкта виробництва

Деталь «Шестерня конічна 12.021» є елементом зубчастої передачі, що використовується для передачі обертового руху під кутом. Її конструкція передбачає високі вимоги до точності геометричних параметрів, твердості поверхонь та шорсткості зубців. Матеріал деталі — легована сталь 12ХНЗ відповідно до стандарту ДСТУ 8781:2018, яка забезпечує високу міцність і зносостійкість. Заготовка деталі виготовляється методом штампування на гарячекувальному обладнанні ГKM.

### Основні характеристики

- Маса деталі: 2,3 кг.
- Матеріал: сталь 12ХНЗ, яка характеризується високим вмістом легуючих елементів (хром, нікель, марганець), що забезпечують необхідні експлуатаційні властивості.
- Термічна обробка: твердість деталі досягається методом ТВЧ (токама високої частоти) до рівня HRC 56–62.

### Технологічність конструкції

#### 1. Геометрія деталі:

- Конструкція має просту та зручну форму, що забезпечує технологічність виготовлення.
- Добре виражені базові поверхні дозволяють якісне базування під час механічної обробки.
- Поверхні обертання сприяють ефективному використанню сучасних методів обробки.

#### 2. Технологічні можливості:

- Деталь придатна до виготовлення на високопродуктивному обладнанні, зокрема верстатах із ЧПК.
- Висока точність геометрії та мінімальна шорсткість поверхонь легко досягаються завдяки сучасним методам обробки та інструментам із твердосплавними пластинами.

Легована конструкційна сталь 12ХН3 володіє необхідними характеристиками для виготовлення високонавантажених деталей:

- Механічні властивості: висока міцність, ударна в'язкість і пластичність.
- Термічна обробка: забезпечує необхідну твердість поверхонь, зносостійкість і стійкість до механічних навантажень.
- Поверхня Ø55k6 шестерня обертається в підшипниках кочення, встановлених у корпусі редуктора. Для фіксації шестерні за допомогою гайки на кінці маточини передбачено різьблення М52 з кроком 1,5 м.
- У центральному отворі шестерні передбачені шліці 8x36x42Н7x7F8 з центруванням по зовнішньому діаметру для встановлення вхідного валу. Зуби шестірні мають модуль  $m=6$  мм, 8 ступенем точності.

Деталь виготовляється із сталі 12ХН3 за ДСТУ 7806:2015 Хімічний склад, механічні властивості наведені у таблиці 1.1 та 1.2 відповідно.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 12ХН3 (ДСТУ 7806:2015)

Масова частка елементів у відсотках							
Вуглець	Кремній	Марганець	Хром	Нікель	Фосфор	Сірка	Мідь
					не більше		
0,09-0,16	0,17-0,37	0,3-0,6	0,6-0,9	2,75-3,15	0,025	0,025	0,3

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 12ХН3

Межа міцності при розтягуванні, $\sigma_B$ , МПа	Межа текучості, $\sigma_T$ , МПа	Відносне подовження після розриву $\delta_5$ , %	Відносне звуження, %	Твердість НВ
1200	1080	14	68	375

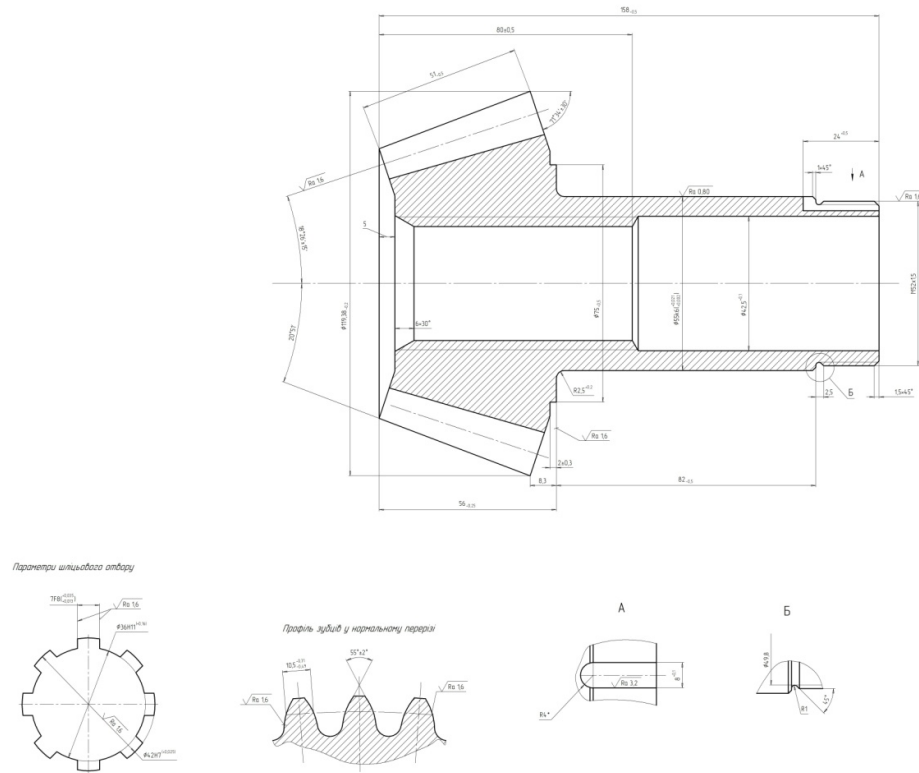


Рисунок 1.1 – Деталь

### 1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі

Відпрацювання на технологічність піддаються деталі за кресленнями заводу.

Деталь «шестерня» виготовляється з легованої конструкційної сталі 12ХН3 з поковки.

Виробнича технологічність конструкції деталі піддається якісній та кількісній оцінці.

Конструкція деталі – шестерня досить технологічна. Деталь допускає застосування високопродуктивних режимів різання, має хороші базові поверхні для початкової операції та досить проста у конструкції. Поверхню обертання можна обробляти кількома інструментами.

Вимоги до точності та шорсткості основних поверхонь задовольняють умови експлуатації та мають цілком обґрунтовані величини. Отримання цих параметрів не викликає труднощів.

Властивості та хімічний склад матеріалу сталі дозволяють легко досягти необхідних властивостей деталі. Наприклад, необхідна жорсткість деталі забезпечується механічними властивостями матеріалу.

Шліцьовий отвір 8-36H11x42H7x7F8 виходить за допомогою операції протягування.

Точність і шорсткість оброблених поверхонь  $\text{Ø}55\text{k}6$  и  $\text{Ø}42+0.1$  деталі легко можна досягти при застосуванні сучасних методів обробки. Найточніша поверхня деталі – зовнішні циліндричні поверхні  $\text{Ø}55\text{k}6$  Ra0,8. Така точність досягається для зовнішньої поверхні на круглошліфувальному верстаті. Обробка зубів шестерні не викликає особливих труднощів. Деталь встановлюється у центрах та обробляється різцями на зубострогальному верстаті. Зуби також обробляються струмами високої частоти (СВЧ).

Кількісна оцінка.

Технологічність конструкції виробу методом кількісної оцінки оцінюють за допомогою системи показників конструктивних рішень, що охоплюють технологічну раціональність.

Розрахунок кількісних показників проводимо за рівнем уніфікації, коефіцієнтом точності обробки та коефіцієнтом шорсткості обробки. Для розрахунку кількісних показників зробимо аналіз конструктивних елементів деталі типу “Фланець” та результати зведемо до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Аналіз конструктивних елементів

Найменування поверхні	Кількість поверхонь	Кількість уніфікованих елементів	Квалітет точності	Шорсткість поверхні
Зовнішні				
$\text{Ø} 55$	1	-	k6	Ra0,8
$\text{Ø} 75$	1	1	14	Ra6,3
$\text{Ø} 119,38$	1	-	11	Ra1,6
Внутрішні				
$\text{Ø}36$	1	1	H11	Ra6,3

Ø 42	1	1	H7	Ra1,6
Ø 42,5	1	-	H11	Ra6,3
Фаски				
1x45°	1	1	14	Ra6,3
1,5x45°	1	-	14	Ra6,3
6x30°	1	1	14	Ra6,3
Довжини				
2	1	1	14	Ra1,6
2,5	1	1	14	Ra6,3
5	1	1	14	Ra6,3
8,3	1	-	14	Ra1,6
24	1	1	14	Ra1,6
49	1	-	14	Ra6,3
51	1	-	14	Ra1,6
56	1	1	14	Ra1,6
80	1	1	14	Ra6,3
82	1	-	14	Ra1,6
158	1	-	14	Ra6,3
Радіус				
R1	1	1	14	Ra6,3
R2,5	1	1	14	Ra6,3
Різьба				
M52x1,5	1	1	7	Ra1,6
	23	14		

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів деталі розраховується за формулою [12, с. 22],

$$K_{y.э.} = \frac{Q_{y.э.}}{Q_э} > 0,6 \quad (1.1)$$

де  $Q_{y.э.}$  - кількість уніфікованих елементів деталі,  $Q_{э.э.}=23$ ;

$Q_e$ .- загальна кількість елементів деталі,  $Q_{э}=14$ ;

Використовуючи формулу (2.1) знаходимо коефіцієнт уніфікації

$$K_{y.э} = \frac{14}{23} = 0,61 > 0,6$$

За цим показником деталь технологічна, оскільки  $K_{y.e}=0,6$

Коефіцієнт точності обробки розраховуємо за формулою:

$$K_{TЧ} = 1 - \frac{1}{A_{cp}} > 0,87, \quad (1.2)$$

де  $A_{cp}$  – середній квалітет точності.

Середній квалітет точності розраховуємо за формулою:

$$A_{cp} = \frac{p_1 + 2 \cdot p_2 + 3 \cdot p_3 + \dots + 19 \cdot p_{19}}{p_i}, \quad (1.3)$$

де  $p_i$  – число поверхонь деталі, відповідно 1 ... 19-му квалітетам.

$$A_{cp} = \frac{1 \cdot 6 + 2 \cdot 7 + 3 \cdot 11 + 17 \cdot 14}{23} = 12,65$$

$$K_{TЧ} = 1 - \frac{1}{12,65} = 0,92,$$

Визначаємо коефіцієнт шорсткості за формулою:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} < 0,32, \quad (1.4)$$

де  $B_{cp}$  – середня шорсткість поверхні, що визначається значенням параметра  $R_a$ , мкм. Визначається за формулою

$$B_{cp} = \frac{(n_1 + n_2 + \dots + n_i)}{p_i}, \quad (1.5)$$

де  $p_i$  – кількість поверхонь, що мають шорсткість,

$$B_{cp} = \frac{1 \cdot 0,8 + 9 \cdot 1,6 + 13 \cdot 6,3}{23} = 4,22$$

$$K_{ш} = \frac{1}{4,22} = 0,24 < 0,32$$

Так як  $K_{ш}=0,24 < 0,32$ , то деталь за цим показником є технологічною.

Виходячи з кількісної та якісної оцінки технологічності конструкції деталі можна зробити висновок, що деталь задовольняє основним технологічним вимогам, отже, деталь є технологічною.

#### 1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва 11

Програму випуску деталей  $N$ , шт. обчислюють за формулою

$$N = N_1 \times m \left(1 + \frac{\beta}{100}\right), \quad (1.1)$$

де  $N_1$  – річна програма випуску виробів, шт.,  $N_1=720$  шт.;

$m$  - кількість деталей цього найменування на виріб, шт.;

$\beta$  -кількість деталей, які необхідно виготовити додатково як запасні частини, задану у відсотках від річної програми,  $\beta=2\dots3\%$ .

$$N = 720 \times 1 \left(1 + \frac{2}{100}\right) = 735 \text{ шт.}$$

Тип виробництва залежить від двох факторів, а саме: заданої програми випуску та трудомісткості виготовлення виробу.

На підставі заданої програми розраховується такт випуску виробу  $t_v$ , а трудомісткість визначається середнім штучним часом  $T_{шт}$  за операціями, що діє на виробництві або аналогічного технологічного процесу.

Коефіцієнт серійності дорівнює ([2] с. 20)

$$k_c = \frac{t_v}{T_{шт}}, \quad (1.2)$$

де  $t_v = \frac{F_D \times 60}{N}$  [хв шт],

$F_D$  – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год/зм.;

$N$  - річна програма випуску деталей ( $N=735$  шт.).

$F_D = 4015$  ч. (для металорізальних верстатів вище 30-ї категорії ремонтної складності).

$$t_v = \frac{4015 \times 60}{735} = 328$$

$$T_{шт} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{шт}}{n} \text{ [хв ]},$$

де  $n$  – кількість деталей у партії для одночасного запуску.

$$n = \frac{N \times a}{F} \text{ [шт]},$$

де  $N$  — річна програма випуску деталей, шт.;

$a$  – число днів, на які необхідно мати запас деталей ( $a=2$ дн.);

F – число робочих днів у році (F=253 дні).

$$n = \frac{735 \times 2}{253} = 6 \text{ шт.}$$

$$T_{\text{шт}} = \frac{5,4 + 3,6 + 7,5 + 4,2 + 5,4 + 5,3 + 8,5 + 1,25 + 2,3 + 3,4 + 6,4 + 2,4}{6}$$
$$= 28,97$$

$$k_c = \frac{328}{28,97} = 11,32$$

$k=11,32$  отже, виробництво – середньосерійне, оскільки потрапляє у діапазон значень 10-20 для серійного виробництва.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Вибір виду і способу отримання заготовки

У сучасному виробництві одним з основних напрямів розвитку технології механічної обробки є використання чорнових заготовок з економічно конструктивними формами, щоб забезпечити можливість застосування найоптимальніших способів їх обробки, тобто обробка з найбільшою продуктивністю та найменшими відходами. Цей напрямок вимагає безперервного підвищення точності заготовок і наближення їх до конструктивних розмірів готової деталі, що дозволяє скоротити обсяг обробки різанням, обмежуючи її в ряді випадків чистовими та оздоблювальними операціями.

В якості заготовки була прийнята поковка. На ковальсько-пресових машинах можна отримати заготовки, які потребують незначного доопрацювання. Для машин ковальсько-пресового виробництва характерна висока продуктивність, що знижує вартість поковок. При обробці металів на ковальсько-пресових машинах зміна форми та розмірів заготовки відбувається не за рахунок видалення надлишку металу у вигляді стружки, як при обробці різанням, а за рахунок перерозподілу об'єму в заготовці. Це різко знижує відходи металу. Кування дозволяє отримати заготовку формою та розмірами найбільш наближеними до форми та розмірів готової деталі.

#### 2.1.1 Передбачуваний метод отримання заготовки

Метод отримання заготовки для деталі типу «шестірня» визначається призначенням та конструкцією деталі, матеріалом, технічними вимогами, серійністю випуску, а також економічністю виготовлення.

Найбільш доцільно для технологічного процесу, що розробляється, порівняти два варіанти методу отримання заготовки — поковкою і штампуванням. Обидва ці методи найбільш точно підходять за виробничою програмою, типом обладнання та іншими показниками.

Гаряче штампування виконується на молотах і пресах у відкритих і закритих штампах, видавлюванням, гнучкою із застосуванням різних процесів. З метою підвищення точності розмірів та поліпшення якості поверхні штампувань застосовують напівгаряче штампування, при якому обмежене окалиноутворення.

Гаряче штампування виконується за двома схемами: у відкритих та закритих штампах. При штампуванні в закритих штампах отримують точніші штамповані заготовки, менше витрачають метал; продуктивність висока при зниженій стійкості штампів і обмеженості форм штампувань (круглі, типу шестерень, фланців, склянок). Штампування в закритих штампах інакше називають безшаровим.

Метод отримання заготовки за умов заводу – штампування.

Розрахунок припусків на штампування провадиться за ДСТУ EN 10254:2022.

Штампувальне обладнання — ГKM.

Маса деталі – 2,3 кг.

Розрахунковий коефіцієнт деталі -  $K_p = 1,6$ ;

маса поковки  $M = M_d \cdot K_p = 2,3 \cdot 1,6 = 3,68$  кг.

Клас точності – T4. Група сталі — M1.

Середня масова частка вуглецю сталі 12ХН3 0,12% С, а сумарна масова частка легуючих елементів 0,17-0,37% Si; 0,3-0,6% Mn; 0,6-0,9% Cr; 2,75-3,15% Ni; трохи більше 0,025% P; трохи більше 0,025% S; трохи більше 0,3% Cu.

Діаметр фігури  $\varnothing 119,38$  мм; довжина фігури  $\ell = 158$  мм;  $\rho = 7,78$  кг/м<sup>3</sup>;

$V = \pi D^2 \ell / 4 = 3,14 \cdot 11,93824 \cdot 15,8 = 1767,62$  см<sup>3</sup>

$m = \rho \cdot V = 7,85 \cdot 1767,62 = 13875,84$  г = 13,87 кг

звідси ступінь складності – С3.

Конфігурація поверхні роз'єму штампу Ів (симетрично вигнута).

Початковий індекс 13.

Основні припуски на розміри, мм:

2,0-діаметр 119,38 мм;

2,0-діаметр 55 мм; 1,7-діаметр 36 мм;

1,8-діаметр 42,5 мм; 1,8-довжина 56 мм;

2,0-довжина 158 мм.

Розміри поковки і їх допустимі відхилення

Розміри поковки, мм:

діаметр  $119,38+2,0*2=123,38$  приймаємо 123,5;

діаметр  $55+2,0*2=59$  приймаємо 59;

діаметр  $36-1,7*2=32,6$  приймаємо 32,5;

діаметр  $42,5-1,8*2=38,9$  приймаємо 35,5

довжина  $56+1,8*2=59,6$  приймаємо 59,5;

довжина  $158+2,0*2=162$  приймаємо 162.

Радіус закруглення зовнішніх кутів 1,0 мм.

Допустиме відхилення розмірів, мм:

діаметр  $123,5-1,0+1,8$ ;

діаметр  $59-0,9+1,6$ ;

діаметр  $32,5-0,8+1,4$ ;

діаметр  $35,5-0,8+1,4$ ;

довжина  $59,5-0,9+1,6$ ;

довжина  $162-1,1+2,1$ .

Заготовка з поковки

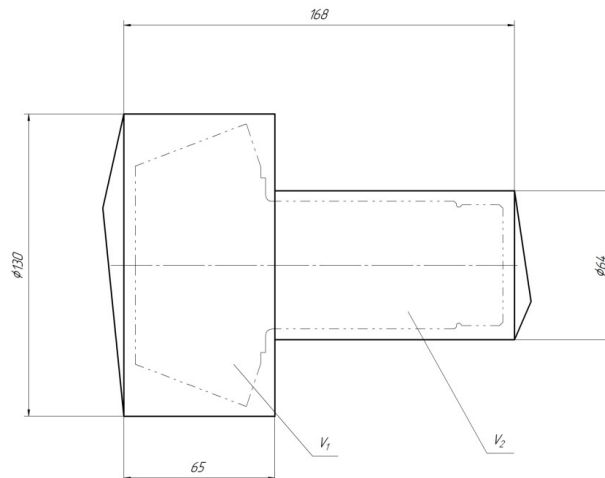


Рисунок 2.1 – Ескіз заводської поковки

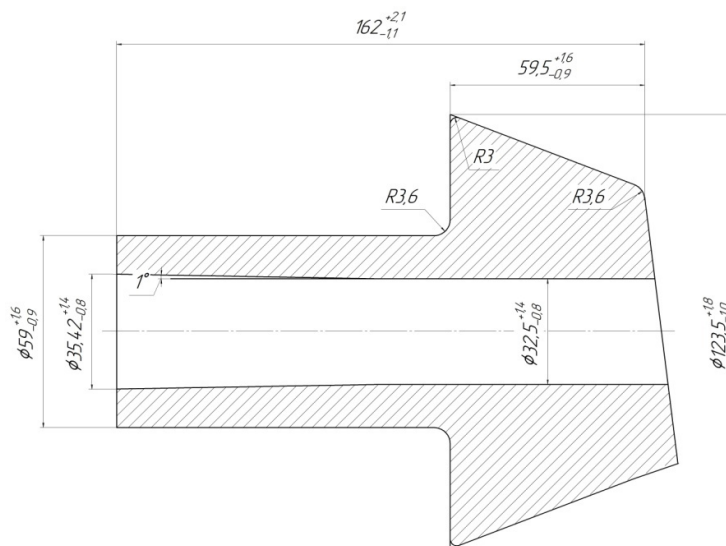


Рисунок 2.2 – Эскіз проектованої заготовки

Таблиця 2.1 – Основні припуски на механічну обробку, допуски та відхилення лінійних розмірів поковок, що допускаються.

Розмір деталі, мм	Вихідний індекс	Шорсткість поверхні Ra, мкм	Припуск на сторону, мм	Граничні відхилення, мм	Розмір поковки з відхиленнями, мм
Ø119,38	13	1,6	2,0	+1,8 -1,0	Ø123,5
Ø55		0,8	2,0	+1,6 -0,9	Ø59
Ø36		6,3	1,7	+1,4 -0,8	Ø32,5
Ø42,5		6,3	1,8	+1,4 -0,8	Ø35,5
56		1,6	1,8	+1,6 -0,9	59,5
158		6,3	2,0	+2,1 -1,1	162

Невказані граничні відхилення приймаємо рівними 1,5 допуску відповідного розміру поковки з рівними відхиленнями, що допускаються.

Допуск зовнішніх кутів поковок – 1,0.

Допустима висота торцевого задирки – 6,0 мм.

Допустиме відхилення від площинності – 0,8 мм.

Економічна ефективність запропонованого методу одержання заготівлі

Матеріал деталі Сталь 12ХН3.

Маса деталі  $q = 2,3$  кг.

Річна програма  $N = 735$  шт.

Такт випуску  $t_{\text{в}} = 30$  дн.

Виробництво середньосерійне.

Таблиця 2. – Дані для розрахунків вартості заготовки за варіантами

Найменування показників	1-й варіант	2-й варіант
Вид заготовки		
Клас точності	поковка	штамповка
Група складності	T3	T4
Маса заготовки Q, кг	C3	C3
Вартість 1т заготовок, прийнятих за базу $C_i$ , грн	9,26 17400	3,68 17400
Вартість 1т стружки $S_{\text{отх}}$ , грн	864	864

Вартість заготовки по першому варіанту

$$S_{\text{заг1}} = C_i \cdot 1000 \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\text{П}} \cdot Q \cdot q \cdot S_{\text{отх}} \cdot 1000,$$

де  $C_i$  - базова вартість 1 тонни заготовок, руб;

$k_T, k_C, k_B, k_M, k_{\text{П}}$  – коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу та обсягу виробництва заготовок.

$$k_T=1; k_C=0,94; k_B=0,93; k_M=1,98; k_{\text{П}}=1.$$

$$S_{\text{заг1}} = 17400 \cdot 1000 \cdot 9,26 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 0,93 \cdot 1,98 \cdot 1 \cdot 9,26 \cdot 2,3 \cdot 864 \cdot 1000 = 272,87 \text{ грн}$$

Вартість заготовки по другому варіанту

$$S_{заг2} = C_i \cdot 1000 \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{II} \cdot Q \cdot q \cdot s_{отх} \cdot 1000$$

$$k_T = 1; k_C = 0,94; k_B = 0,93; k_M = 1,98; k_{II} = 1.$$

$$S_{заг2} = 17400 \cdot 1000 \cdot 3,68 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 0,93 \cdot 1,98 \cdot 1 \cdot 3,68 \cdot 2,3 \cdot 864 \cdot 1000 = 109,64 \text{ грн}$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняння варіантів отримання заготовки

Вид заготовки	Маса деталі, кг	Маса заготовки, кг	$K_{им}$	Вартість заготовки, грн
Поковка	2,3	9,26	0,25	272,87
Штамповка	2,3	3,68	0,3	109,64

З таблиці видно, що заготовку вигідніше отримувати штампуванням. Цей спосіб дозволяє економити метал та скорочує грошові витрати.

Економічний ефект для зіставлення способів одержання заготовок, за яких технологічний процес обробки не змінюється:

$$E_z = S_{заг1} - S_{заг2} \cdot N \text{ грн.},$$

$$E_z = (272,87 - 109,64) \cdot 735 = 119974,05 \text{ грн.}$$

## 2.2 Розрахунок припусків під обробку

Припуски визначаються розрахунково-аналітичним методом.

Аналітичним методом розраховуються припуски на механічну обробку поверхні  $\varnothing 55k6$ , шорсткість Ra0,8.

Маршрут обробки:

- напівчистове точіння
- чистове точіння
- шліфування

Таблиця 2.4 – Розрахунок припусків та граничних розмірів за технологічними переходами на обробку поверхні  $\varnothing 55 \left( \begin{smallmatrix} +0,021 \\ +0,002 \end{smallmatrix} \right) k6$

Технологічні переходи обробки поверхні Ø55k6	Елементи припуску, мкм				Точність поверхні	Допуск	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	z						δ, мкм	d <sub>min</sub>	d <sub>max</sub>	2Z <sub>min</sub>
Заготовка	50	50	657		61,6	2500	61,6	64,1	-	-
Точіння Напівчистове	0	0	59	2· 57	55,482	190	55,482	55,672	6118	8428
Точіння чистове	0	0	06	·166	55,15	74	55,15	55,224	332	448
Точіння тонке		5	3	·73	55,002	19	55,002	55,021	148	203

Значення елементів припуску  $R_z$  і  $T$  вибирають з табл.4.3 [2].

Сумарне значення просторових відхилень для заготівлі даного типу визначиться за формулою [1, табл. 4.7]

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{ексц}}^2}, \quad (2.9)$$

де  $\rho_{\text{см}}=0,9$  мм - похибка заготовок по зміщенню,

$\rho_{\text{ексц}}=2,5$  мм - похибка заготовок по ексцентричності.

$$\rho_z = \sqrt{900^2 + 2500^2} = 2657 \text{ мкм},$$

Величина остаточного просторового відхилення

$$\rho_{\text{ост}} = K_y \times \rho_z, \quad (2.11)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення форми,  $K_y=0,04$  [1, стр. 73]

$$\rho_{\text{ост}} = 0,04 \times 109 = 4,4 \text{ мкм},$$

Після напівчистового точіння значенням  $\rho$  нехтуємо, так як це значення дуже мале.

Похибка установки  $\varepsilon_{\text{уст}}=0$ , так як заготовка закріплюється на оправці.

На підставі записаних у таблиці даних робимо розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків, користуючись формулою

$$2Z_{\text{min}} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1}), \quad (2.12)$$

де  $R_{z_{i-1}}$  – висота нерівностей, які одержуються на попередньому переході;

$T_{i-1}$  – глибина поверхневого шару, отриманого на попередньому переході;

$\rho_{i-1}$  – сума просторових відхилень, отриманих на попередньому переход

При напівчистовому точінні

$$2Z_{\min} = 2 \times (150 + 200 + 109) = 918 \text{ мкм},$$

При чистовому точінні

$$2Z_{\min} = 2 \times (50 + 50 + 4,4) = 209 \text{ мкм},$$

При тонкому точінні

$$2Z_{\min} = 2 \times (5 + 15) = 40 \text{ мкм},$$

Значення максимального припуску визначаємо за формулою:

$$2Z_{\max} = 2Z_{\min} + \delta_{\text{п}} - \delta_{\text{в}} \text{ мкм}, \quad (1.13)$$

де  $\delta_{\text{п}}$  – допуск на розмір на попередньому переході;

$\delta_{\text{в}}$  – допуск на розмір на виконаному переході;

$$2Z_{\text{махполучист.}} = 918 + 2000 - 190 = 2728 \text{ мкм},$$

$$2Z_{\text{махчист.}} = 209 + 190 - 74 = 325 \text{ мкм},$$

$$2Z_{\text{махшлиф.}} = 40 + 74 - 19 = 95 \text{ мкм},$$

Міжопераційні припуски розраховуються за формулами:

$$d_{\text{махшлиф.}} = d_{\text{н}} + es = 55 + 0,021 = 55,021 \text{ мм},$$

$$d_{\text{міншлиф.}} = d_{\text{н}} + ei = 55 + 0,002 = 55,002 \text{ мм},$$

$$d_{\text{махточ.чист.}} = d_{\text{махшлиф.}} + 2Z_{\text{махшлиф.}} = 55,021 + 0,095 = 55,116 \text{ мм},$$

$$d_{\text{мінточ.чист.}} = d_{\text{міншлиф.}} + 2Z_{\text{міншлиф.}} = 55,002 + 0,04 = 55,042 \text{ мм},$$

$$d_{\text{махточ.получист.}} = d_{\text{махточ.чист.}} + 2Z_{\text{махточ.чист.}} = 55,116 + 0,325 = 55,441$$

мм,

$$d_{\text{мінточ.получист.}} = d_{\text{мінточ.чист.}} + 2Z_{\text{мінточ.чист.}} = 55,042 + 0,209 = 55,251$$

мм,

$$d_{\text{махзагот.}} = d_{\text{махточ.получист.}} + 2Z_{\text{махточ.получист.}} = 55,441 + 2,728 = 58,169 \text{ мм,}$$

$$d_{\text{мінзагот.}} = d_{\text{мінточ.получист.}} + 2Z_{\text{мінточ.получист.}} = 55,251 + 0,918 = 56,169 \text{ мм,}$$

Схема графічного розподілу припусків та допусків на обробку даної поверхні представлені на рисунку 2.2.

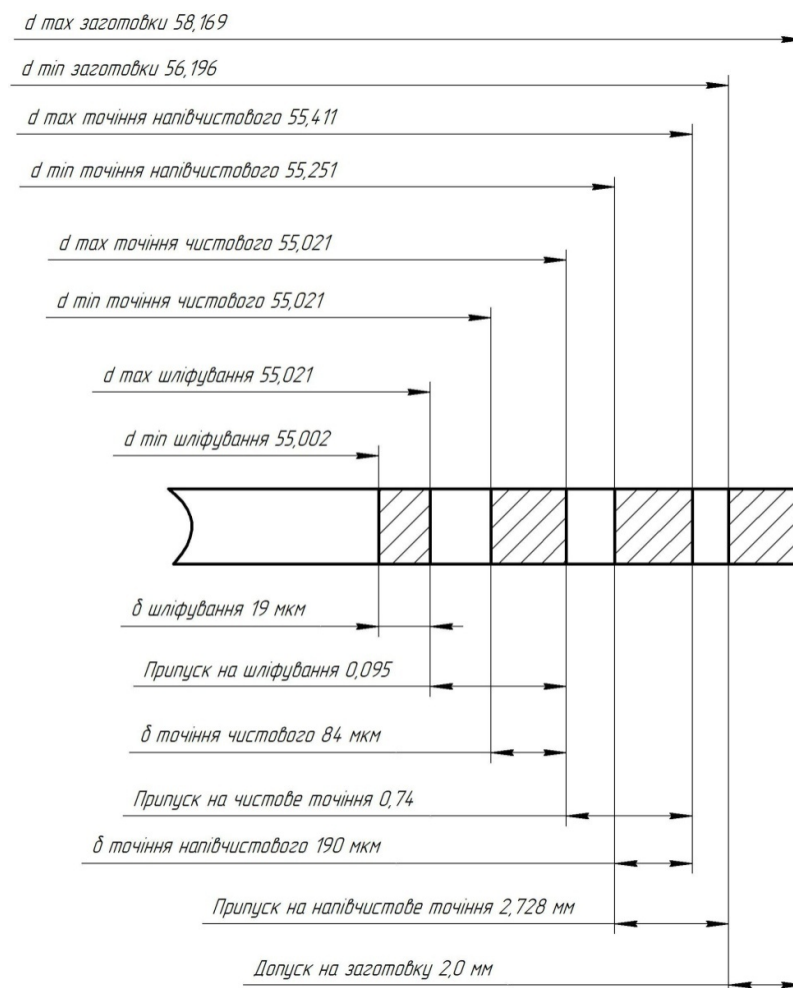


Рисунок 2.3 – Схема графічного розподілу припусків та допусків на обробку даної поверхні  $\varnothing 55 \left( \begin{smallmatrix} +0,021 \\ +0,002 \end{smallmatrix} \right) k6$

### 2.3 Вибір технологічних баз

У заводському технологічному процесі при побудові маршруту обробки використано правило 6-ти точок, дотримано принцип сталості та принцип суміщення настановних баз з конструкторськими та вимірювальними.

Технологічні бази забезпечують достатню стійкість та жорсткість установки заготовки, що досягається відповідними розмірами та якістю оброблених поверхонь. Для повної орієнтації заготовки в пристосуванні число і розташування настановних елементів таке, що при дотриманні умови невідривності баз від настановних елементів (тобто збереження щільного контакту між ними) заготовка не має зсуву та обертання щодо трьох координатних осей. Число настановних елементів (точок) дорівнює шести (правило 6-ти точок); їхнє взаємне положення забезпечує достатню стійкість заготівлі в пристосуванні.

На першій токарній операції деталь закріплюється у 3-х кулачковому патроні. За установчу базу приймається поверхня  $\varnothing 58,6$  мм.

На круглошліфувальній та стругальній операціях деталь встановлюється в оправці. Базування відбувається за шліцевим отвором.

### 2.3.1 Вибір баз у запропонованому варіанті технологічного процесу

У запропонованому варіанті технологічного процесу теоретичні схеми базування не змінюються усім операціях.

Деталь позбавляється 6-ти ступенів свободи, і дотримуються принципу сталості та принципу суміщення настановних баз з конструкторськими та вимірювальними.

Операція 005 Токарна з ЧПУ

Крапки 1, 2, 3, 4 – подвійна спрямована направляюча;

Точка 5 – явна опорна;

Точка 6 - опорна прихована, що реалізує при затиску деталі.

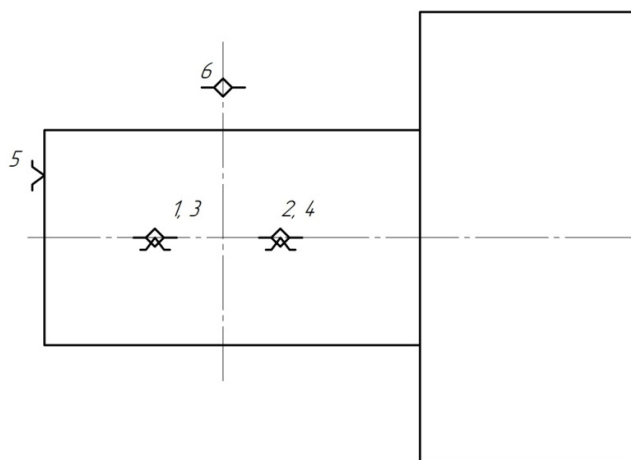


Рисунок 2.2 – Схема базування на 005 операції

Операція 015 Протяжна, 020 Зубостругальна,

Точки 1, 2, 3, 4 – подвійна напрямна прихована;

Точка 5 – явна опорна;

Точка 6 – опорна прихована, що реалізує при затиску деталі.

.

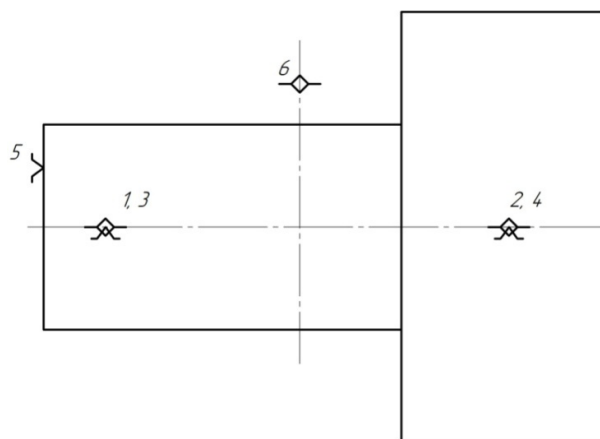


Рисунок 2.2 – Схема базування на 020 операції

На інших операціях застосовуються аналогічні схеми базування.

#### 2.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

Предметом аналізу є технологічний процес виготовлення деталі "Шестерня". Виробництво середньосерійне. Обсяг випуску – 720 шт. на рік.

Маршрутний технологічний процес складений раціонально, послідовність операцій дозволяє отримати необхідну форму та точність деталі.

На токарних операціях використовується обладнання застарілої моделі, що зумовлює низьку продуктивність.

На круглошліфувальній операції використовується обладнання іноземного виробництва, яке коштує дуже дорого, що впливає на збільшення витрат на виробництво деталі.

Загальним недоліком цього процесу є те, що він практично не автоматизований. На заводі застосовуються пристрої з ручним затискачем і розтисканням деталі.

У заводському технологічному процесі використовується багато слюсарних операцій, що викликає підвищення собівартості деталі та збільшення витрат часу.

З аналізу заводського технологічного процесу можна зробити такі висновки.

Ділянка слабо автоматизована, що призводить до залучення додаткових робітників, збільшення часу обробки та зменшення продуктивності.

Під час обробки деталей багато транспортується різними цехами, що призводить до збільшення витрат і часу обробки деталі.

Удосконалення технологічного процесу зводиться до використання прогресивних методів обробки та обладнання, об'єднання операцій тощо.

Пропонується токарну обробку деталі проводити на токарному верстаті з ЧПУ. Застосування верстатів з ЧПК сприяє підвищенню продуктивності, зменшенню кількості робочих (багатоверстатне обслуговування), підвищенню точності виготовлення деталі, а також зниженню собівартості виготовлення. Із застосуванням верстатів з ЧПУ необхідно максимально обмежити кількість операцій за рахунок концентрації переходів (операцій), використовувати максимальні схеми базування заготовок, що забезпечують обробку заготовки з мінімальним числом установок.

Пропонований технологічний процес з усіма змінами та удосконаленнями зносимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Пропонований технологічний процес механічної обробки шестерні

Номер операції	Зміст операції	Обладнання та інструмент
005	<p>Токарна з ЧПУ</p> <p>А. Встановити деталь у 3х кулачковому патроні, закріпити</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Підрізати торець, витримуючи розмір 160 мм.</li> <li>2. Розточити виточку Ø50 на глибину 5 мм</li> <li>3. Розточити Ø32,5 до Ø35,5 напрохід</li> <li>4. Розточити фаску 6x30° на Ø35,5 мм.</li> <li>5. Точити зовнішній конус зубців до Ø120</li> </ol>	<p>Токарний верстат з HAAS ST20Y</p> <p>Різець розточний Sandvik Coromant S16Q-SDUCR07 пластина DCMT 11T304-PF 4325</p>  <p>Різець розточний Iscar DCLNR/L 2020K-12 із пластинами CNMG</p> 
010	<p>Токарна з ЧПУ</p> <p>А. Встановити деталь на оправлення, закріпити у центрах</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Точити торець, витримуючи розмір Ø158<sub>-0,5</sub> мм</li> <li>2. Розточити Ø35,5 до Ø39,5 на довжину 78 мм</li> <li>3. Точити Ø59 до Ø57,2 на довжину 102,8 мм</li> </ol>	<p>Токарний верстат з ЧПУ DMG MORI NLX 2500</p> 

	<p>4. Точити поверхню, витримуючи розмір 54,8 мм</p> <p>5. Точити поверхню, витримуючи розмір 48,5 мм</p> <p>6. Точити Ø52 під різьбу на довжину 20 мм</p> <p>7. Точити фаску 1,5x45° на Ø52 мм.</p> <p>8. Розточити Ø42,5 на довжину 78 мм</p> <p>9. Точити Ø55,6 під тонке точіння на довжину 70</p> <p>10. Точити Ø55k6 , витримуючи Ra0,8 на довжину l=82<sub>-0,5</sub> мм.</p> <p>11. Точити торець Ø70, витримуючи розмір Ø102мм</p> <p>12. Точити поверхню, витримуючи розмір 2±0,3 мм</p> <p>13. Точити поверхню, витримуючи розмір 8,3 мм</p> <p>14. Точить зовнішній конус зубців до Ø119,38 мм</p> <p>15. Точити канавку R1 до Ø49,8 на 2,5 мм</p> <p>16. Нарізати різьбу M52x1,5 на довжину 17,5</p> <p>○ 17. Фрезерувати шпоночний паз на довжину 24 мм</p>	<p>Різець прохідний Sandvik Coromant</p>
015	<p>Протяжна</p> <p>1. Протягнути шліци D-8x36x42H7x7F8</p> <p>Шліцьова протяжка</p> <p>Призначена для внутрішнього протягування шліців 8x36x42H7x7F8</p> <p>□ <b>Матеріал:</b> HSS-E або тврдосплавний.</p>	<p>Протяжний верстат LORENZ LS 150</p>

	□ <b>Профіль:</b> Шліцьова протяжка з напрямними зубами, стандарт <b>DIN 5480</b>	
020	Зубострогальна А. Установить деталь на оправку, закріпити 1. Стругати зубці $m=6, z=18$ , попередньо 2. Стругати зуби остаточно, витримуючи товщину зуба $8,322_{-0,18}$ мм	Верстат PFAUTER RS 200 
025	Термічна 1. ТВЧ HRC 56...62 Н 1,5...2	
030	Контрольна	

Для виконання технологічних операцій, зазначених у процесі виготовлення деталі «Шестерня конічна», рекомендовано використовувати сучасний токарний верстат із числовим програмним керуванням (ЧПК), який забезпечує високу точність і продуктивність обробки.

Рекомендований верстат: HAAS ST-20Y



Рисунок 2.3 - HAAS ST-20Y

Цей верстат має універсальні можливості для токарної обробки деталей із додатковими функціями, що забезпечують виконання складних профілів, фасок, різьблення та фрезерування.

Технічні характеристики:

1. Розмір оброблюваної деталі:
  - Максимальний діаметр обробки: 356 мм.
  - Максимальна довжина обробки: 508 мм.
2. Шпиндель:
  - Максимальна швидкість обертання: 4000 об/хв.
  - Потужність приводу шпинделя: 15 кВт.
  - Діаметр отвору шпинделя: до 65 мм.
3. Револьверна головка:
  - 12 позицій для інструменту.
  - Можливість встановлення приводних інструментів для виконання фрезерних операцій.
4. Система ЧПК:
  - Контролер: Haas CNC або FANUC (залежно від конфігурації).
  - Підтримка програмування складних профілів і контурів.
5. Додаткові функції:
  - Підтримка обробки конусів.
  - Функція «живого» інструменту для виконання різьблення та фрезерування пазів.
  - Автоматична система охолодження та видалення стружки.

Переваги:

**Точність:** Верстат дозволяє виконувати всі необхідні операції, включаючи обробку фасок, конусів, зовнішніх і внутрішніх поверхонь з високою точністю.

**Універсальність:** Завдяки приводним інструментам забезпечується виконання фрезерування пазів і різьблення.

**Продуктивність:** Мінімальна кількість переналаштувань підвищує швидкість обробки та знижує витрати часу на виробництво.

Рекомендація:

Верстат HAAS ST-20Y або його аналог стане оптимальним вибором для виконання всіх зазначених технологічних операцій, забезпечуючи високу якість обробки та економічну ефективність виробництва.

Для включення у виробничий процес передбачте додаткове навчання персоналу для роботи з системою ЧПК.

## 2.5 Розрахунок режимів різання

### 005 Токарна з ЧПК

Токарний верстат HAAS ST-20Y з ЧПК

Різець для підрізання торця:

Модель: Sandvik Coromant DCLNR 2020K-12.

Ріжуча пластина: CNMG 120408-PF 4325.

Матеріал: Твердосплав із покриттям TiAlN.

Режими різання:

Швидкість різання ( $V_c$ ): 200–250 м/хв.

Подача ( $f$ ): 0.2–0.3 мм/об.

Глибина різання ( $t$ ): 1–3 мм.

Розточувальний різець для  $\varnothing 50$  на глибину 5 мм:

Модель: Sandvik CoroTurn® 107 S16Q-SDUCR07.

Ріжуча пластина: DCMT 11T304-PF 4325.

Режими різання:

Швидкість різання ( $V_c$ ): 180–220 м/хв.

Подача ( $f$ ): 0.1–0.2 мм/об.

Глибина різання ( $t$ ): 1–2 мм.

Розточувальний різець для  $\varnothing 32,5$  до  $\varnothing 35,5$  напрохід:

Модель: Kennametal S20R-SDUCR11.

Ріжуча пластина: DCMT 11T308.

Режими різання:

Швидкість різання ( $V_c$ ): 150–200 м/хв.

Подача ( $f$ ): 0.15–0.25 мм/об.

Різець для фаски 6x30° на Ø35,5 мм:

Модель: Walter DTGNR 2020K-16.

Ріжуча пластина: TNMG 160404-PF.

Режими різання:

Швидкість різання ( $V_c$ ): 150–180 м/хв.

Подача ( $f$ ): 0.1–0.2 мм/об.

Різець для точіння зовнішнього конуса Ø120:

Модель: Sandvik CoroTurn® 111 PCLNR 2020K-12.

Ріжуча пластина: CNMG 120408-PM 4325.

Режими різання:

Швидкість різання ( $V_c$ ): 200–250 м/хв.

Подача ( $f$ ): 0.2–0.3 мм/об.

Глибина різання ( $t$ ): 1.5–2 мм.

#### 010Токарна з ЧПУ

Токарний верстат з ЧПУ DMG MORI NLX 2500

Точити торець (Ø158-0,5 мм):

- Різець: Прохідний, модель Sandvik Coromant PCLNR/L 2020K-12 із пластиною CNMG 120408-PF (покриття TiAlN).

- Режими:  $V_c = 200–250$  м/хв,  $f = 0.2–0.4$  мм/об,  $t = 2–3$  мм.

Розточити Ø35,5 до Ø39,5 (78 мм):

- Різець: Розточувальний, модель Sandvik CoroTurn® 107 S16Q-SDUCR07 із пластиною DCMT 11T304-PF 4325.

- Режими:  $V_c = 180–220$  м/хв,  $f = 0.1–0.2$  мм/об,  $t = 1–2$  мм.

Точити Ø59 до Ø57,2 (102,8 мм):

- Різець: Прохідний різець, Kennametal DCLNR 2020K-12 із пластиною CNMG 120408-PF.

- Режими:  $V_c = 220–260$  м/хв,  $f = 0.2–0.3$  мм/об,  $t = 2–3$  мм.

Точити фаски  $1,5 \times 45^\circ$  ( $\varnothing 52$  мм):

- Різець: Фасочний різець Walter DTNCR/L 2020K-12 із пластиною TNMG 16T304.

- Режими:  $V_c = 180\text{--}220$  м/хв,  $f = 0.1\text{--}0.2$  мм/об.

Тонке точіння  $\varnothing 55,6$  (70 мм) і  $\varnothing 55k6$  Ra0,8 (82 мм):

- Різець: Чистовий, модель Iscar SCLCL 2020K-09 із пластиною CCMT 09T304-PF (покриття AlTiN).

- Режими:  $V_c = 250\text{--}300$  м/хв,  $f = 0.1$  мм/об,  $t = 0.5$  мм.

Точити канавку R1 ( $\varnothing 49,8$  на 2,5 мм):

- Різець: Канавковий, модель Sandvik CoroCut® 1-2.

- Режими:  $V_c = 150\text{--}200$  м/хв,  $f = 0.1\text{--}0.2$  мм/об.

Нарізати різьбу M52 $\times$ 1,5 (17,5 мм):

- Інструмент: Різьбонарізний різець Iscar SER 2020K-16 із пластинами 16ERAG60.

- Режими:  $V_c = 50\text{--}80$  м/хв,  $f = 1.5$  мм/об.

Фрезерувати шпоночний паз (24 мм):

- Інструмент: Приводний фрезерний інструмент Sandvik R390-11 T3 08M-PM 1025.

Режими:  $V_c = 120\text{--}160$  м/хв,  $f = 0.1$  мм/зуб.

015 Протяжна

Протяжний верстат LORENZ LS 150

Шліцьова протяжка для внутрішнього протягування.

Технічні характеристики протяжки:

- Тип профілю: Стандартний шліцьовий профіль, що відповідає DIN 5480.

- Розміри:

- Діаметр шліцьового отвору:  $D = 8$  мм.

- Кількість шліців:  $z = 36$ .

- Довжина протягування: 42 мм.

- Матеріал: HSS (швидкорізальна сталь) або твёрдосплавний інструмент.

Швидкість протягування ( $V_c$ ):

- 3–5 м/хв

020 Зубостругальна

А. Встановити деталь на виправлення, закріпити

1. Стругати зуби  $m=6$ ,  $z=18$ , попередньо
2. Стругати зуби остаточно, витримуючи товщину зуба  $8,322_{-0,18}$  мм

**Попереднє стругання зубів:**

- Швидкість різання ( $V_c$ ): 15–20 м/хв.
- Глибина різання: 1,5–2 мм.
- Подача: 0,2–0,3 мм/зуб.

**Остаточне стругання зубів:**

- Швидкість різання ( $V_c$ ): 12–15 м/хв.
- Глибина різання: 0,5–1 мм.
- Подача: 0,1–0,2 мм/зуб.

2.5 Нормування технологічного процесу механічної обробки

015 Токарна з ЧПУ

1. Визначається основний час автоматичної роботи верстата.

$$T_{oa} = \sum T_{oi} \text{ хв}, \quad (2.25)$$

де  $T_{oi}$  – основний час переходів.

$$T_{oa} = 0,38 + 0,42 + 0,14 + 0,02 + 0,26 = 1,22 \text{ хв},$$

2. Підраховується штучний час

$$T_{шт} = (T_a + T_b \times K_{тв}) \times \left(1 + \frac{\alpha_{обсл} + \alpha_{отд} + \alpha_{отл}}{100}\right) \text{ хв}, \quad (2.26)$$

де  $T_a$  – час автоматичної роботи верстата, хв;

$K_{тв}$  – коефіцієнт закріплення норм,  $K_{тв} = 1,32$ .

3. Визначаємо час автоматичної роботи верстата:

$$T_a = T_{oa} + T_{ав} \text{ хв,} \quad (2.27)$$

де  $T_{ав}$  – час допоміжної роботи, хв;

$$T_{ав} = t_1 + t_2 + t_3 \text{ хв,} \quad (2.28)$$

де  $t_1=0,04$  хв – час на прискорене переміщення робочого органу верстата;

$t_2=0,09$  хв – час на настановні переміщення;

$t_3=0,08$  хв – час на зміну інструмента.

$$T_{ав} = 0,04 + 0,09 + 0,08 = 0,21 \text{ хв.}$$

$$T_a = 1,22 + 0,21 = 1,43 \text{ хв.}$$

4. Підраховується допоміжний час ручної роботи:

$$T_b = t_{уст} + t_n + t_{контр} \text{ хв,} \quad (2.29)$$

де  $t_{yc}$  – час на встановлення та зняття деталі,  $t_{yc}=0,35$  хв; [9, с. 32]

$t_n$  – час, пов'язаний з переходом,  $t_n=0,04$  хв; [9, с. 60]

$$T_b = 0,35 + 0,04 \cdot 4 = 0,51 \text{ хв,}$$

5. Час на обслуговування, відпочинок та особисті потреби

$$\alpha_{отд} = 4\%, \quad [9, \text{ с. 203}]$$

$$\alpha_{обсл} = 8\%, \quad [8, \text{ с. 605}]$$

$$\alpha_{отл} = 4\%, \quad [8, \text{ с. 605}]$$

6. Визначається штучний час:

$$T_{шт} = (1,43 + 0,51 \times 1,32) \times \left(1 + \frac{4+8+4}{100}\right) = 2,44 \text{ хв,}$$

6. Визначається штучно-калькуляційний час

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} \text{ хв,} \quad (2.30)$$

де  $T_{пз}$  – підготовчо-заключний час

$$T_{пз} = T_{пз1} + T_{пз2} + T_{пз3} \text{ хв,} \quad (2.31)$$

де  $T_{пз1} = 10$ ; хв.; час виконання додаткових операцій

$T_{пз2} = 21$ ; хв.; час на зміну оснащення

$T_{пз3} = 1,6$  хв.; час на встановлення різця в різцетримач;

$$T_{пз} = 10 + 21 + 1,6 \times 3 = 35,8 \text{ хв,}$$

$n$  – число деталей в партії,  $n=64$  шт.

$$T_{шт-к} = 2,44 + \frac{35,8}{64} = 3,0 \text{ хв,}$$

Результати розрахунку за іншими операціями зводимо до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Норми часу

Операція	$T_o$ , хв	$T_v$ , хв	$\alpha_{обсл}$ , %	$\alpha_{отд}$ , %	$T_{шт}$ , хв	$T_{пз}$ , хв	$T_{шт-к}$ , хв
Токарна з ЧПУ	1,22	0,51	4	8	2,44	35,8	3,0
Токарна з ЧПУ	3,49	0,84	4	8	5,02	35,8	5,58
Протяжна	0,14	0,35	4	4	0,65	18	0,93
Зубостругальна	16,2	0,84	4	4	18,7	22	19,0 4

## 2.6 Розробка програми обробки конічної шестерні в CAM ESPRIT

Наступним етапом виконання дипломної роботи стало створення програми для обробки корпусу на токарному верстаті з ЧПК DMG MORI NLX 2500.

Першим етапом механічної обробки шпинделя стала токарна обробка. Для генерації програми в G-коді було використано програмне забезпечення CAM Esprit.

У процесі розробки програми для фрезерної обробки виконано наступні дії:

Створено тривимірну модель у SolidWorks та імпортовано її в середовище Esprit (рис. 2.4).

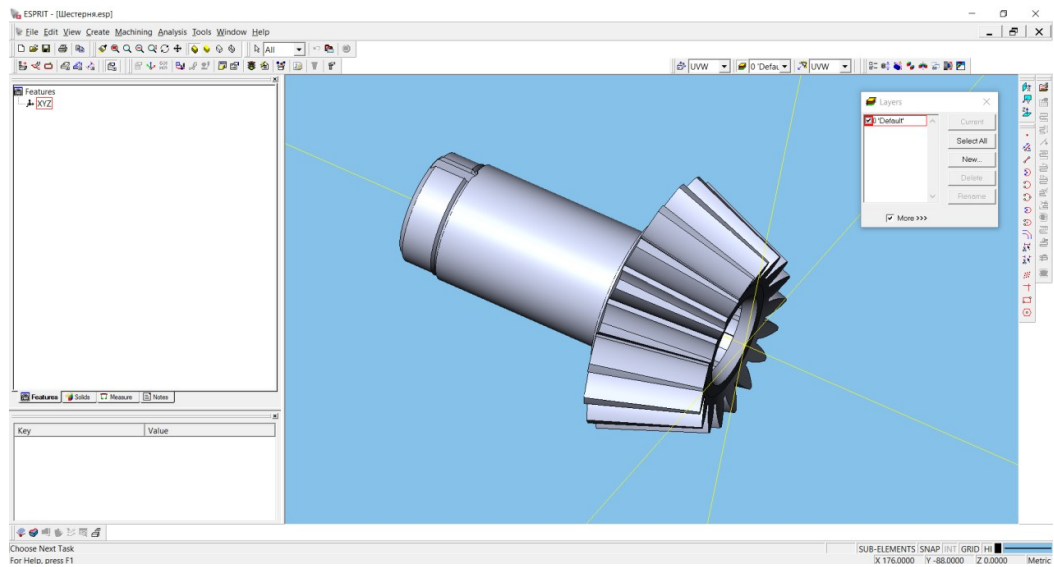


Рисунок 2.4 – 3D модель шестерні конічної у середовищі Esprit

## 1. Створено заготовку

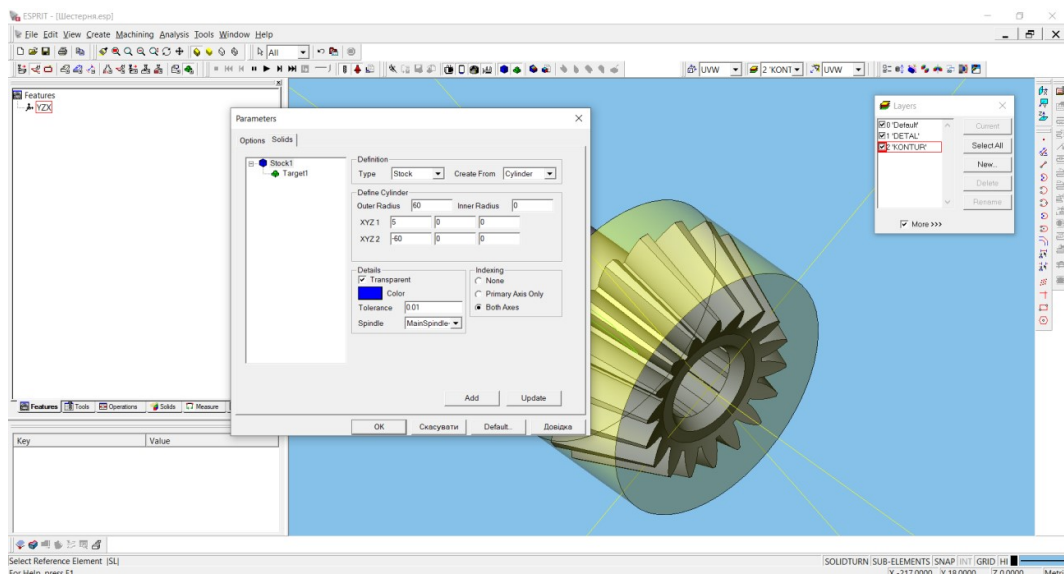


Рисунок 2.5 – Створення заготовки у САМ Esprit

## 2. Виконано розпізнання елементів профілю рис 3.5.

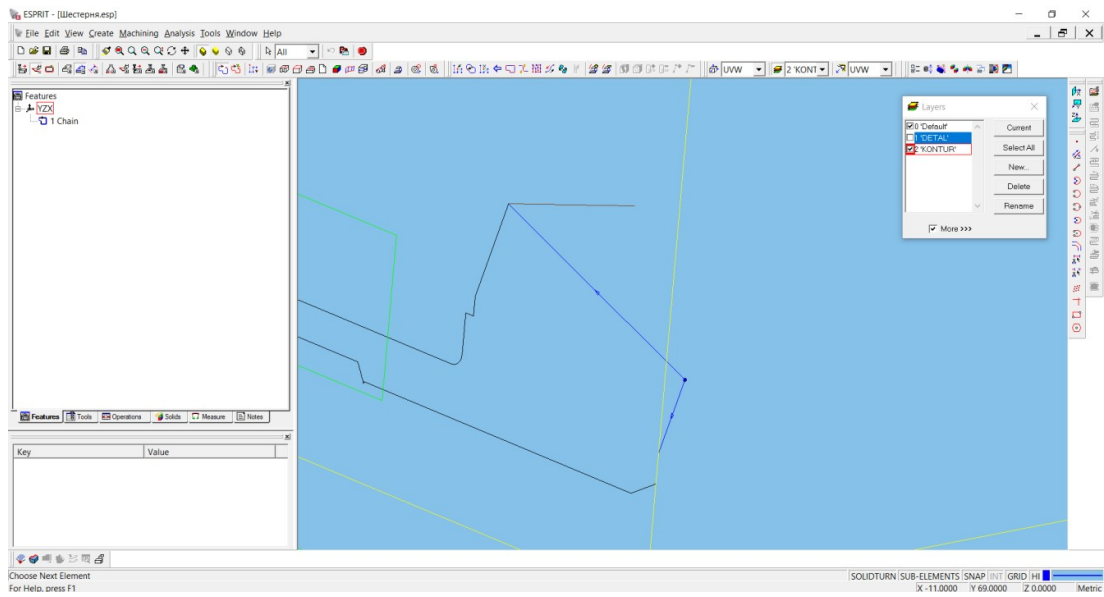


Рисунок 2.6 – Розпізнання у САМ Esprit елементів профілю

3. Вибрано вид оброблення – «черновое точение» (рис. 2.7).

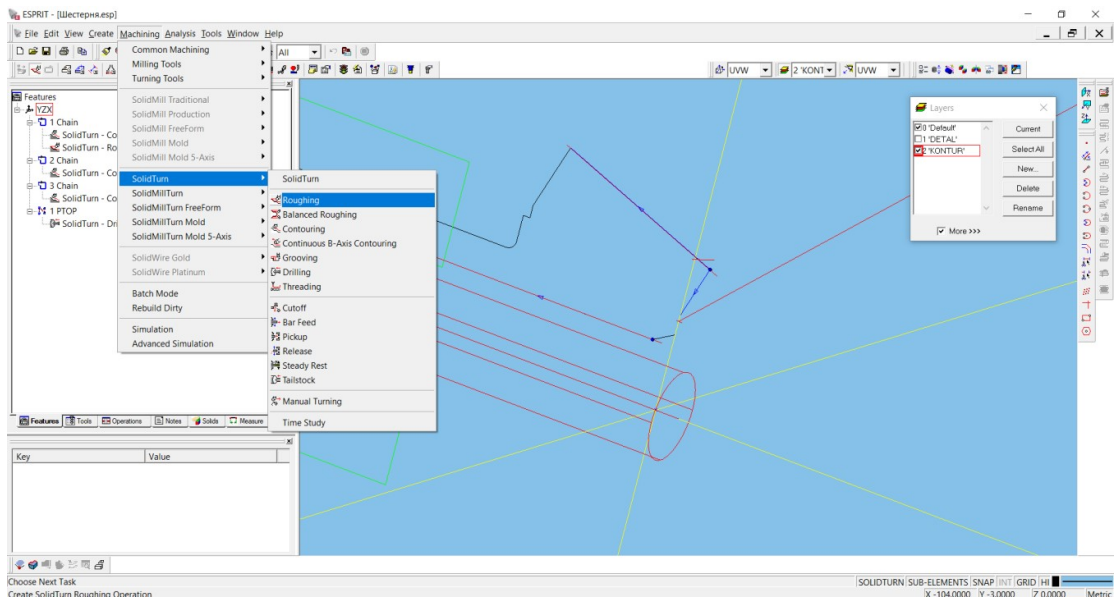


Рисунок 2.7 – Вибір виду оброблення

4. Вибрано металообробний інструмент та його параметри (рис. 2.8).

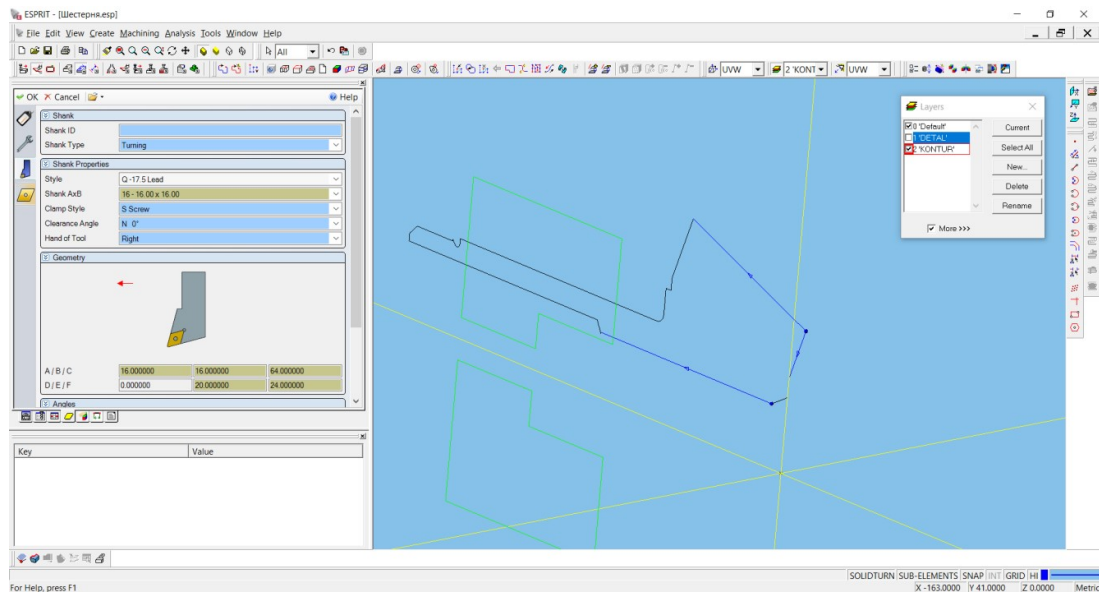


Рисунок 2.8 – Вибір ріжучого інструменту

5. Вибрано режими різання.
6. Згенеровано траєкторію руху металорізального інструменту при обробленні корпусу (рис 2.9).

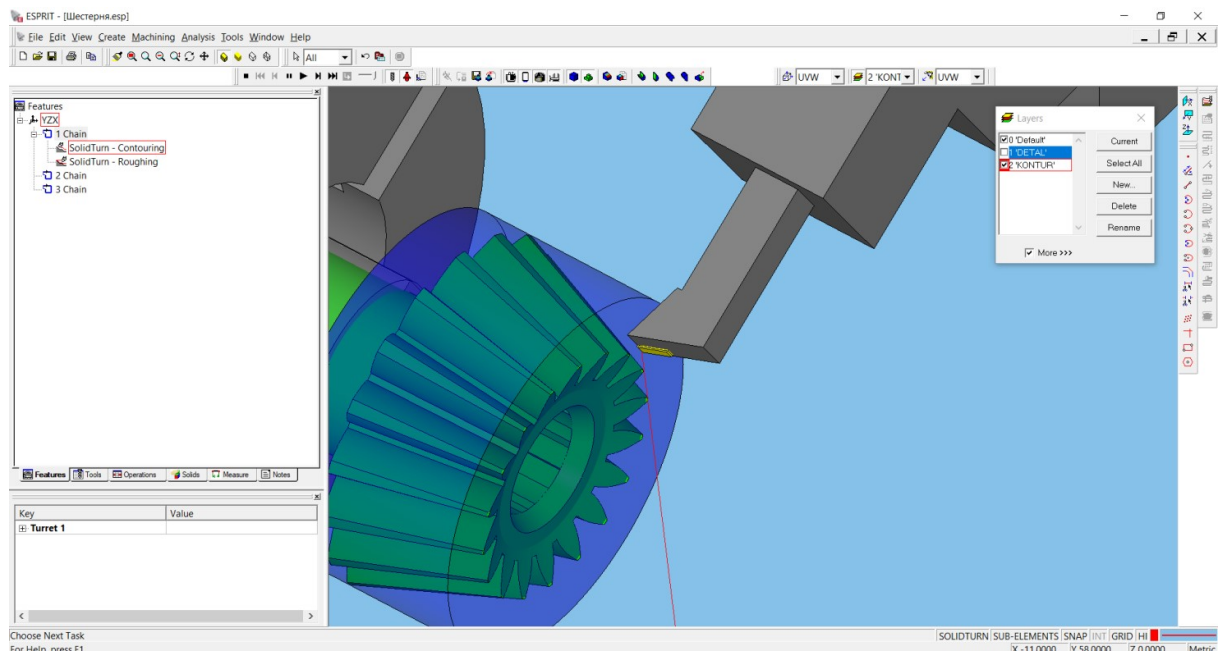
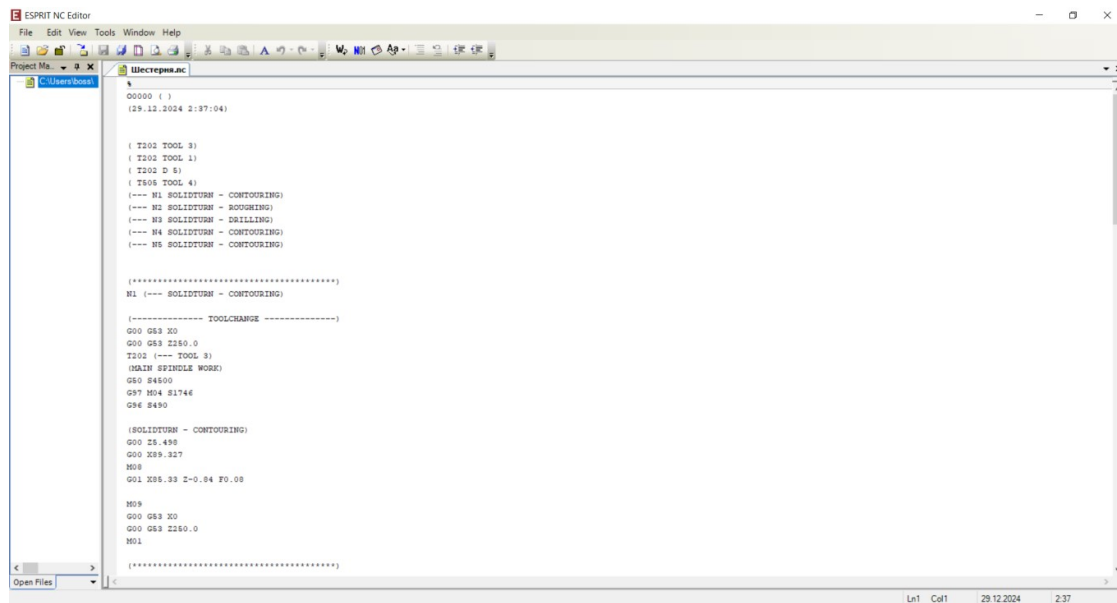


Рисунок 2.9 – Траєкторія руху металорізального інструменту при обробленні кришки

7. Виконано автоматичне генерування програми оброблення в G-M кодї для оброблення на токарному верстатї з ЧПК ЧПК DMG MORI NLX 2500 за допомогою постпроцесора.



```
O0000 ( )
(29.12.2024 2:37:04)

( T002 TOOL 3)
( T002 TOOL 1)
( T002 D 5)
( T002 TOOL 4)
(--- N1 SOLIDTURN - CONTOURING)
(--- N2 SOLIDTURN - BROOMING)
(--- N3 SOLIDTURN - DRILLING)
(--- N4 SOLIDTURN - CONTOURING)
(--- N5 SOLIDTURN - CONTOURING)

(*****
N1 (--- SOLIDTURN - CONTOURING)
(----- TOOLCHANGE -----)
G00 G53 Z0
G00 G53 Z250.0
T002 (--- TOOL 3)
(MAIN SPINDLE WORK)
G50 S4500
G97 M04 S1744
G96 S450

(SOLIDTURN - CONTOURING)
G00 Z5.498
G00 X59.327
M08
G01 X55.93 Z-0.04 F0.08

M09
G00 G53 Z0
G00 G53 Z250.0
M01

(*****
Ln1 Col1 29.12.2024 2:37
```

Рисунок 2.11 – Скрїн програми оброблення корпусу на токарному верстатї з ЧПК ЧПК DMG MORI NLX 2500

### 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Проектування технологічного оснащення для операції 010

3.1.1 Аналіз існуючих конструкцій засобів технологічного оснащення операцій механозбірного виробництва

Для токарної операції 010 застосовується 3-х кулачковий патрон закріплення заготовки на якому проводиться вручну. Пристосування просте в обслуговуванні та виготовленні.

Деталь закріплюється зовнішньою поверхнею в кулачках, упираючись торцем в основу патрона. Затискач кулачків здійснюється вручну за допомогою спеціального ключа.

Пристосування встановлюється на шпинделі токарно-гвинторізного верстата.

3.1.2 Вибір системи технологічного оснащення та розробки схеми пристосування

Проектований пристрій призначений для установки деталі паралельно столу вертикально-свердлувального верстата для свердління отворів.

Встановлення належності оснастки до систем відповідно до Р-50-54-11-87 проводиться за номограмою, виходячи з коефіцієнта завантаження одиниці технологічного оснащення та запланованого періоду виробництва виробу.

Коефіцієнт завантаження  $K_3$ :

$$K_3 = \frac{N_{оп} \times t_k}{F_{п} \times 60} = \frac{875 \times 5,7}{320 \times 60} = 0,25; \quad (3.1)$$

$N_{оп}$  – число повторень операцій, що відповідає числу оброблюваних заготовок одного типорозміру протягом місяця – 875 шт.;

$t_k$  – штучно – калькуляційний час виконання операції;

$F_{п}$  – місячний фонд часу роботи СП в дві зміни;

Таким чином, з номограми видно, що при виробництві деталі протягом 36 місяців пристосування відноситься до універсально-налагоджувальних пристроїв.

У запропонованому варіанті технологічного процесу розроблено пристосування з пневматиском, конструкція пристосування загалом не змінюється.

Робота пристрою полягає в наступному: повітря, потрапляючи в ліву порожнину камери, переміщає поршень, який закріплений на штоку. Шток у свою чергу пов'язаний з клиновими напрямними. Переміщуючись, напрямні впливають на кулачки, закріплені на них. Кулачки закріплюють заготовку. При подачі повітря в праву порожнину кулачки звільняють заготовку.

Пристосування просте за конструкцією та зручне в обслуговуванні, закріплення заготовки здійснюється автоматично і не вимагає великих витрат сил та часу робітника, підвищує продуктивність праці.

### 3.1.3 Розрахунок зусилля затискача заготовки

Розрахунок потрібних сил затиску зводиться вирішенням завдання статички на рівновагу заготовки, що під дією всіх доданих до неї зовнішніх сил, і навіть моментів, створюваних цими силами (силами різання, з урахуванням коефіцієнта запасу, силами тертя, інерції, реакції опор).

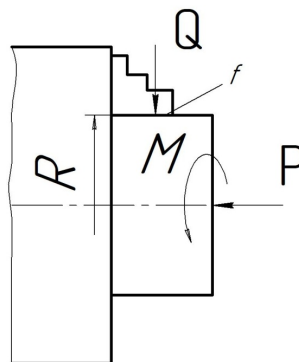


Рисунок 3.1 – Схема затиску

Силу закріплення можна знайти з рівності:

$$Q = \frac{k \times M}{3 \times f \times R} \text{ Н}, \quad (3.2)$$

де  $R$  – радіус заготовки, 29 мм;

$f$  – коефіцієнт тертя, 0,15;

Для забезпечення надійного затискання заготовки визначаємо коефіцієнт запасу  $K_{зан}$

$$K_{зан} = K_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5, \quad (3.3)$$

де  $K_0$  - постійний коефіцієнт запасу за всіх випадків обробки,

$K_0 = 1,5$ ;

$K_1$  - коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки,  $K_1 = 1$ ;

$K_2$  - коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при затупленні різального інструменту,  $K_2 = 1,2$ ;

$K_3$  - коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при обробці уривчастих поверхонь,  $K_3 = 1,0$ ;

$K_4$  - коефіцієнт, що враховує сталість сили затиску, що розвивається приводом пристосування,  $K_4 = 1,1$ ;

$K_5$  - коефіцієнт, що враховує прагнення повернути оброблювану деталь навколо її осі за наявності моментів,  $K_5 = 1,0$ ;

$$K_{зан} = 1,5 \times 1 \times 1,2 \times 1,0 \times 1,1 \times 1,0 = 1,98 \quad (3.4)$$

Із п. 2.9.1 приймаємо  $P_z = 305$  Н, тоді крутний момент знаходимо за формулою:

$$M = P_z \times \frac{d_{обр.}}{2} = 305 \times \frac{44,9}{2} = 6847,25 \text{ Н}\cdot\text{мм},$$

тоді  $Q$  визначається:

$$Q = \frac{1,98 \times 6847,25}{3 \times 0,15 \times 29} = 1539 \text{ Н}, \quad (3.5)$$

Визначення розмірів приводу затискача (діаметра пневмоприводного циліндра, діаметра затискного штока).

Діаметр циліндра пневматичного приводу поршневого типу двосторонньої дії визначається за формулою (стиснене повітря подається в безштокову порожнину):

$$Q = P_g \frac{\pi D_u^2}{4} = P_g \times 0,78 \times D_u^2 \times \eta, \quad (3.6)$$

де  $Q = Q_{\text{потр.}}$ ;

$Q_{\text{потр.}}$  - потрібна сила затиску деталі;

$P_g$  - тиск повітря в магістралі, кгс/см<sup>2</sup>;

$D_u$  - діаметр циліндра (поршня), мм;

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії повітряного циліндра;  $\eta = 0,85$

Приймаємо  $P_g = 3$  кгс/см<sup>2</sup> (0,4 мпа)

$$D_u = \sqrt{\frac{Q}{P_g \times 0,78 \times 0,85}} \quad (3.7)$$

$$D_u = \sqrt{\frac{1539}{0,4 \times 0,78 \times 0,85}} = 76,1 \text{ мм}$$

Приймаємо більший стандартний діаметр циліндра,  $D_u = 100$  мм.

Визначаємо діаметр затискного штока:

$$d = 0,2 \times D_u \text{ мм,}$$

$$d = 0,2 \times 100 = 20 \text{ мм.}$$

Приймаємо пневмоциліндр, з тиском до 10 кгс/см<sup>2</sup>,  $D_u = 100$  мм,  $d_{\text{шт}} = 20$  мм.

Хід поршня  $L = 10-400$  мм по ДСТУ CEN ISO/TR 15608:2019

### 3.1.4 Розрахунок пристосування на точність

Розрахунок точності виготовлення пристрою ведеться за формулою для допуску співвісності осі отвору щодо зовнішнього діаметра:

$$\varepsilon_{np} \leq \delta - \kappa \sqrt{(\kappa_1 \times \varepsilon_0)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{ycm}^2 + \varepsilon_{nep}^2 + \varepsilon_{uzm}^2 + (\kappa_2 \times \omega)^2}, \quad (3.8)$$

де  $\delta$  – допуск на відповідний розмір поверхні, що обробляється, заданий кресленням;

$\kappa$  - коефіцієнт, що враховує відхилення розсіювання значень складових величин від закону нормального розподілу,  $\kappa=1 \dots 1,2$ ;

$\kappa_1$  - коефіцієнт, що враховує зменшення граничного значення похибки та базування під час роботи на налаштованих верстатах,  $\kappa_1=0,8 \dots 0,85$ ;

$\kappa_2$  - коефіцієнт, що враховує частку похибки обробки у сумарній похибці, що викликається факторами, що не залежать від пристосування,  $\kappa_2=0,6 \dots 0,8$ ;

$\varepsilon_6$  - похибка базування заготовок у пристосуванні;

$\varepsilon_3$  - похибки, що виникають в результаті деформації заготовки та настановних елементів пристосування під дією зусилля затиску;

$\varepsilon_{уст}$  - похибка установки пристосування на верстаті;

$\varepsilon_{пр}$  - похибка, що виникає внаслідок неточності виготовлення пристосування;

$\varepsilon_{пер}$  - похибка перенесення та зміщення інструменту, що викликається наявністю експлуатаційного та конструктивного зазору між інструментом та направляючими його елементами пристосування;

$\varepsilon_{изм}$  - похибка, що виникає в результаті зношування настановних елементів пристосування;

$\omega$  - значення похибки обробки, виходячи з економічності даного методу обробки.

Похибка базування, при встановленні в 3-х кулачковому самоцентруючому патроні,  $\varepsilon_6=0$ .

При установці в пристрій з пневматичним затискачем похибка закріплення  $\varepsilon_3 = 380$  мкм, так як здійснюється надійний контакт настановної плити пристосування з площиною стола верстата.

Похибка від зношування елементів пристрою, вводимо у вигляді допуску на знос кулачків, застосовуваного пристрою

Похибка установки пристосування на верстаті  $\varepsilon_{уст}=0$ ;

$\varepsilon_{изн}=0,05$  мм.

Економічна точність обробки отвору  $\varnothing 44,9H12$  деталі із сірого чавуна СЧ15 точність  $\delta=0,5$  мм, за таблицею знаходимо точність за 12-м квалітетом точності,  $\omega=0,25$  мм.

Коефіцієнти:  $k=1$ ;  $k_1=0,8$ ,  $k_2=0,6$

$$\varepsilon_{np} = 0,5 - 1\sqrt{(0,8 \times 0,05)^2 + 0,18^2 + 0^2 + 0,037^2 + 0,02^2 + (0,6 \times 0,09)^2} = 0,1 \text{ мм},$$

### 3.2 Проектування технологічного оснащення для операції 020

3.2.1 Аналіз існуючих конструкцій засобів технологічного оснащення операцій механозбірного виробництва

Для цієї операції розробляємо затискний пристрій для обробки конічних коліс з прямими зубами. Пристрій універсальний, простий конструкції, з жорстким центруванням.

3.2.2 Вибір системи технологічного оснащення та розробки схеми пристосування

Проектований пристрій призначений для встановлення деталі на столі стругального верстата.

Встановлення належності оснастки до систем відповідно до Р-50-54-11-87 проводиться за номограмою, виходячи з коефіцієнта завантаження одиниці технологічного оснащення та запланованого періоду виробництва виробу.

Коефіцієнт завантаження  $K_z$ :

$$K_z = \frac{N_{оп} \times t_k}{F_{п} \times 60} = \frac{875 \times 19,04}{320 \times 60} = 0,86;$$

де  $N_{оп}$  – число повторень операцій, що відповідає кількості оброблюваних заготовок одного типорозміру протягом місяця - 875 шт.;

$t_k$  – штучно – калькуляційний час виконання операції;

$F_{п}$  – місячний фонд часу роботи СП у дві зміни;

Таким чином, з номограми видно, що при виробництві деталі протягом 36 місяців пристрій відноситься до НСП.

У запропонованому варіанті технологічного процесу розроблено пристосування з пневмозатиском, конструкція пристосування загалом не змінюється.

Заготовку шестерні встановлюють на знімний фланець з внутрішнього шліцевого отвору з упором в торець. Шлиці оберігають заготовку від провороту під час процесу різання. Затискач деталі у пристосуванні здійснюється швидкознімною замковою шайбою, яка наводиться у дії тягою від гідроциліндра. У шпindelь верстата пристрій встановлюється на конічну поверхню з опорою на торець і закріплюється гвинтами.

### 3.2.3 Розрахунок зусилля затискача заготовки

### 3.2.4 Розрахунок пристосування на точність

Розрахунок точності виготовлення пристрою ведеться за формулою для допуску співвісності осі отвору щодо зовнішнього діаметра:

$$\varepsilon_{np} \leq \delta - \kappa \sqrt{(\kappa_1 \times \varepsilon_0)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{уст}^2 + \varepsilon_{пер}^2 + \varepsilon_{изм}^2 + (\kappa_2 \times \omega)^2},$$

де  $\delta$  – допуск на відповідний розмір поверхні, що обробляється, заданий кресленням;

$\kappa$  - коефіцієнт, що враховує відхилення розсіювання значень складових величин від закону нормального розподілу,  $\kappa=1 \dots 1,2$ ;

$\kappa_1$  - коефіцієнт, що враховує зменшення граничного значення похибки та базування під час роботи на налаштованих верстатах,  $\kappa_1=0,8 \dots 0,85$ ;

$\kappa_2$ - коефіцієнт, що враховує частку похибки обробки у сумарній похибці, що викликається факторами, що не залежать від пристосування,  $\kappa_2=0,6 \dots 0,8$ ;

$\varepsilon_0$  - похибка базування заготовок у пристосуванні;

$\varepsilon_3$  - похибки, що виникають в результаті деформації заготовки та настановних елементів пристосування під дією зусилля затиску;

$\varepsilon_{уст}$  - похибка установки пристосування на верстаті;

$\varepsilon_{np}$  - похибка, що виникає внаслідок неточності виготовлення пристосування;

$\varepsilon_{пер}$  - похибка перенесення та зміщення інструменту, що викликається наявністю експлуатаційного та конструктивного зазору між інструментом та направляючими його елементами пристосування;

$\varepsilon_{изм}$  - похибка, що виникає в результаті зношування настановних елементів пристосування;

$\omega$  - значення похибки обробки, виходячи з економічності даного методу обробки.

Похибка базування, при встановленні в 3-х кулачковому самоцентруючому патроні  $\varepsilon_6=0$ .

При установці в пристрій з пневматичним затискачем похибка закріплення  $\varepsilon_3 = 380$  мкм.

Похибка установки пристосування на верстаті  $\varepsilon_{уст}=0$ , так як здійснюється надійний контакт настановної плити пристосування з площиною стола верстата.

Похибка від зношування елементів пристосування, вводимо у вигляді допуску на зношування кулачків, що застосовується

$$\varepsilon_{изн}=0,05 \text{ мм.}$$

Економічна точність обробки отвору  $\varnothing 44,9H12$  деталі із сірого чавуну СЧ15 точність  $\delta=0,5$  мм, за таблицею знаходимо точність за 12-м кваліфікацією точності,  $\omega=0,25$  мм.

Коефіцієнти:  $k=1$ ;  $k_1=0,8$ ,  $k_2=0,6$

$$\varepsilon_{np} = 0,5 - 1\sqrt{(0,8 \times 0,05)^2 + 0,18^2 + 0^2 + 0,037^2 + 0,02^2 + (0,6 \times 0,09)^2} = 0,1 \text{ мм,}$$

### 3.3 Проектування контрольного пристрою

3.3.1 Аналіз засобів та методів контролю, що використовуються в існуючому технологічному процесі

У заводських умовах контроль здійснюється універсальним вимірювальним інструментом.

При контролі шорсткості отриманої поверхні використовують зразки шорсткості.

### 3.3.2 Опис конструкції контрольного пристрою

Спроекований контрольний пристрій призначений для контролю биття зовнішніх циліндричних поверхонь  $\varnothing 55k6$  мм.

Вимірювання здійснюються за допомогою електронної мікрометричної вимірювальної головки (індикатора), закріпленої на стійці контрольного пристрою.

Для встановлення деталі на контрольному столі використовується пристрій.

Після установки деталі в пристосуванні до поверхні, що вимірюється, підводимо ніжку індикатора, і виставляємо індикатор на нуль.

Обертаючи деталь ручкою, вимірюємо биття поверхні.

### 3.4.3 Розрахунок на точність контрольного пристрою

Розрахунок здійснюється за формулою:

$$\varepsilon_{\text{сум}} = \varepsilon_{\text{изм}} + \varepsilon_{\text{пу}} + \varepsilon_{\text{б}},$$

де  $\varepsilon_{\text{изм}}$  – похибка вимірювання, економічна точність вимірювального пристрою;

$\varepsilon_{\text{пу}}$  – похибка в передавальних пристроях під час вимірювання;

$\varepsilon_{\text{б}}$  – похибка базування.

Приймаємо наступні складові для проєктованого контрольованого пристрою:

$\varepsilon_{\text{изм}} = 0,001$  мм – по ТУ 57 – 68 для мікрометричних стрілочних індикаторів;

$\varepsilon_{\text{пу}} = 0,02$  мм – похибка передавальних пристроїв у механізмі вимірювання;

$\varepsilon_{\text{б}} = 0,036$  мм, оскільки базування проводиться на оправці, яка встановлюється на підшипниках.

$$\varepsilon_{\text{сум}} = 0,001 + 0,02 + 0,036 = 0,057 \text{ мкм}$$

$0,057 < 0,08$  – умова точності виконується.

Спроектований пристрій задовольняє потрібну точність.

## 4 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ

### 4.1 Аналіз засобів контролю геометричних параметрів косозубих коліс

Для контролю геометричних параметрів косозубих коліс використовуються різноманітні засоби, що забезпечують точність і надійність роботи механізмів. Одним із найпоширеніших засобів є контурні шаблони, які дозволяють швидко перевірити відповідність профілю зуба заданим параметрам. Цей метод ефективний для виявлення грубих відхилень, проте його точність обмежена й залежить від майстерності оператора.

Геометрія конічного зубчастого колеса описує форму, розміри та взаємозв'язок елементів, які забезпечують передачу обертального руху між валами, осі яких перетинаються. Конічні зубчасті колеса мають складну геометрію, оскільки їх зуби розташовані на поверхні конуса. Нижче наведені основні параметри та елементи геометрії конічного колеса.

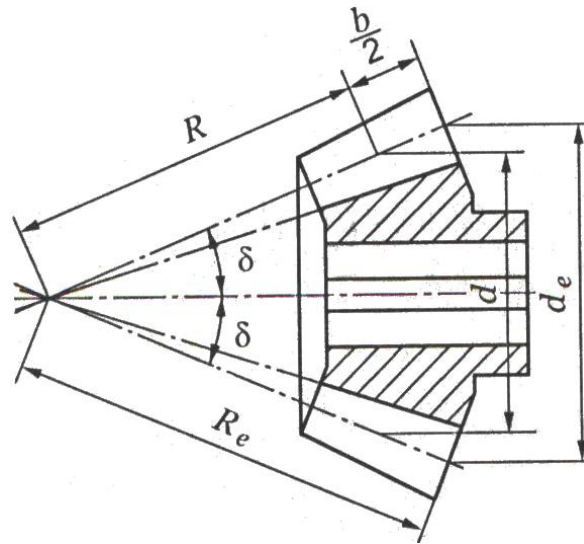


Рисунок 4.1 – Геометрія конічного зубчастого колеса

$R_e$  - розрахунковий конусний радіус,  $b/2$  – ширина зубчастого вінця

$\delta$  - кут конуса,  $d_e$  - зовнішній діаметр

Оптичні проектори забезпечують більш детальний аналіз профілю та кута нахилу зубів. Завдяки збільшенню зображення, вони дозволяють оцінити навіть незначні відхилення від теоретичного профілю. Такі прилади особливо корисні

у виробництві високоточних передач для авіаційної чи автомобільної промисловості.

Сучасні автоматизовані зубоізмєрювальні машини дають змогу комплексно контролювати всі ключові параметри колеса, зокрема кут нахилу зуба, товщину та відхилення профілю. Ці пристрої оснащені спеціалізованим програмним забезпеченням, яке дозволяє зберігати результати вимірювань для подальшого аналізу. Завдяки автоматизації, значно зменшується ймовірність помилок, пов'язаних із людським фактором.

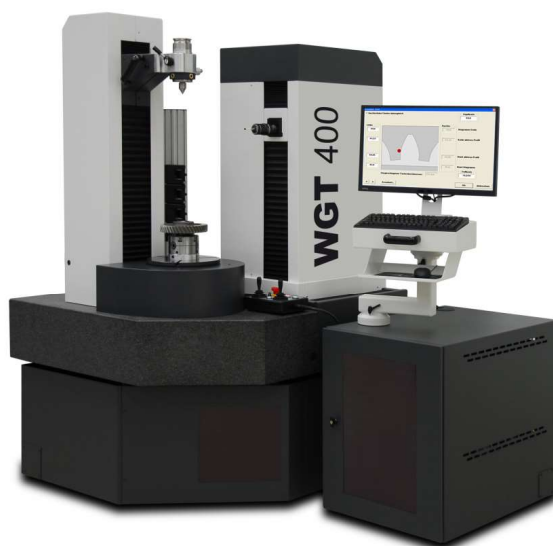


Рисунок 4.2 – Зубовимірювальна машина Wenzel WGT 400

Wenzel WGT 400 — це високоточна з зубовимірювальна машина, створена провідною світовою компанією Wenzel (Німеччина), яка використовується для вимірювання та аналізу зубчастих коліс і деталей обертання діаметром до 400 мм. Ця машина ідеально підходить для застосування в автомобільній, авіаційній промисловості та інших сферах, які потребують високоточного вимірювання.

Використання лазерних сканерів забезпечує високоточний контроль без контакту з поверхнею зубів. Це дозволяє не лише отримати точні вимірювання, але й створити 3D-модель зубчастого колеса, що може бути використана для подальшого аналізу та оптимізації. Таким чином, засоби контролю геометричних параметрів косозубих коліс є невід'ємною складовою виробничого процесу, забезпечуючи необхідний рівень якості продукції.

#### 4.2 Контрольно-вимірювальні машини

Контроль таких параметрів як співвісність, паралельність, перпендикулярність, ексцентриситет, конусність, бочкоподібність тощо просто приводять технологів у замішання: виготовити можна – перевірити складно. І найкрасивіше вирішення проблем вимірювань – контрольно-вимірювальна машина.



Рисунок 4.2 – Універсальний зубовимірювальний центр MarGear GMX 400W

Як показує практика, можна виміряти все. Штангенциркуль, мікрометр, вимірювальний пристрій, калібр – випробувані та надійні засоби вимірювання.

Але на вершині контрольно-вимірjuвальної техніки знаходяться контрольно-вимірjuвальні машини.

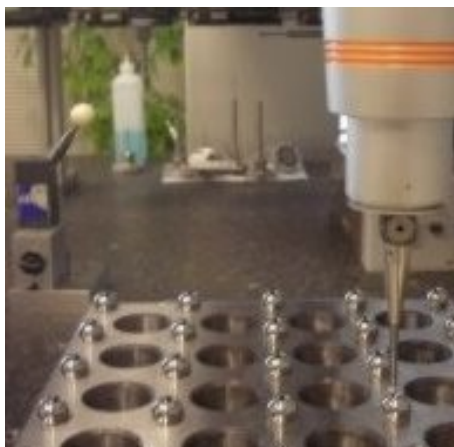


Рисунок 4.3 – Процес вимірjuвання

Як і на більшості верстатів, програмування контрольно-вимірjuвальної машини здійснюється або в ручному або в автоматичному режимі. У ручному режимі оператор джойстиком підводить на великій швидкості щуп до деталі, зупиняє його, зазначає точку, і направляє щуп до деталі на малій швидкості. При зіткненні з деталлю вимірjuвальна головка зупиняє машину і повідомляє координати. Потім щуп відводиться від деталі та на великій швидкості переміщається до наступної точки. Всі точки фіксуються комп'ютером, а потім можна повторити всі ці дії. Нагадує процес навчання, лише результат гарантовано.

Програмування в автоматичному режимі набагато простіше та складніше одночасно. Достатньо вказати, що ви хочете вимірjати, і комп'ютер визначить оптимальні траєкторії руху, безпечні відстані та можливість вимірjuвання даного параметра. Тільки він не може врахувати, як закріплена деталь, і чи не залишилося після обробки, наприклад, технологічних відливів, додаткових кріплень або деталей, що просто сполучаються, встановлених для подальшої спільної обробки. Це відкоригувати нескладно.

Перед виміром обов'язково проводиться тарування щупів. Встановлюється еталонна кулька (точність не відома) і кожен щуп перевіряє на ньому свої координати. Тепер на столі будь-яким щупом можна вимірювати все з точністю до десятої частки мікрона.

Якщо вимірюється велика партія виробів, то не обов'язково жорстко прив'язувати їх до столу. Достатньо задати очікувану точку контакту та контрольно-вимірювальна машина сама знайде її, а далі акуратно працюватиме за програмою. Навіть на великій швидкості «в'їхавши» в деталь, вона зупиняється, трохи хитається на амортизаторах і продовжує працювати.

Виміряти розміри поверхонь – не дуже складне завдання. Набагато складніше виміряти, наприклад, паралельність, перпендикулярність, співвісність отворів або паралельність перпендикулярність площин. Не варто говорити, яке це має значення для роботи шестерень, що сполучаються, або при складанні вузлів.

Для контрольно-вимірювальної машини проблеми складності виміру немає. За спеціальною програмою вона вимірює потрібну кількість точок, обчислює положення осі та відносне положення осей чи площин. При цьому все намалює та покаже.

Одна з найцікавіших можливостей контрольно-вимірювальних машин – сканування поверхні. Щуп безперервно ковзає по поверхні і постійно видає результати вимірів. Можна задати крок вимірів, від мікрона до міліметра. Просканувати можна будь-які поверхні будь-яких деталей – площини, отвори, циліндри, шестерні, лопатки, тощо.

Ще одна цікава програма, це вимір шестерень, причому всіх типів та розмірів. Вимірюються і розраховуються всі параметри шестерень, всі діаметри, модулі, розміри зубів, кути та ін. Можна перевірити основні параметри шестерні, можна перевірити всі зуби і можна просканувати за профілем зуба або його площиною. Все роздруковується та малюється із зазначенням відхилень, якщо вони вказані.

Більше того, якщо на плиту контрольно-виміральної машини встановити поворотний стіл та керувати ним, то отримаємо четверту координату для вимірювань. Якщо зможемо нахилити вимірвальний щуп щодо головки та обертати вимірвальну головку, то отримаємо шестикоординатну контрольно-вимірвальну машину. На ній можна вимірювати ступінчасті отвори, коли діаметр першого отвору менший за наступний, а також надскладні шестерні, крильчатки, гвинти, лопатки авіаційних двигунів і все що завгодно, з однієї установки.

Наступний напрямок удосконалення – вимір все дрібніших об'єктів. Наприклад, різьблення з кроком 1,25 мм. Для цього застосовується голковий щуп, який може сканувати поверхню з радіусом 0,25 мм. Тут вже видно і шорсткість поверхні, і фаски, і радіуси заокруглення, і неприбрані задирки.

Додавши до контрольно-виміральної машини магазин зі змінними щупами, пристрій для зміни щупів та лазерний вимірвальний пристрій отримуємо контрольно-вимірвальний центр. Така надскладна конструкція потрібна для роботи у складі гнучкої виробничої системи.



Рисунок 4.4 – Інші типи контрольно-вимірвальних машин

Існує безліч інших типів контрольно-вимірювальних машин, і вони відповідають способам вимірювання, що існують у виробництві. Найбільш цікаві лазерні та оптичні машини.

Лазерна вимірювальна головка має незаперечну перевагу перед механічною. Забирається безліч складних і дорогих деталей: щупи, подовжувачі, тримачі, сама механічна головка. Зникає небезпека пошкодження під час зіткнення з деталлю. Точність виміру визначається механічною частиною та довгою хвилі лазера, тобто. вище, ніж звичайних контрольно-вимірювальних машинах. Маленька маса лазерної головки дозволяє значно полегшити та спростити всю машину. Тому можна використовувати конструкцію типу гнучкої руки без зниження точності виміру. Таку контрольно-вимірювальну машину можна встановити у будь-якому зручному місці, навіть безпосередньо біля верстата. Вона більше нагадує руку робота та займає трохи місця. Дуже зручно перевіряти складні деталі із криволінійними поверхнями, причому сканування поверхні проводиться з великою швидкістю та точністю. Основний недолік – перевірити можна тільки отвори, в які може розміститися вимірювальна головка. Невеликі отвори вже не виміряти. Але і без цього сфера застосування лазерних машин просто величезна.

Ще простіший спосіб контролю розмірів – оптичний. Фотографуємо деталь, оцифруємо зображення та порівнюємо з кресленням. Не потрібно вимірювати кожен елемент окремо, можна перевіряти деталі, що рухаються конвеєром, велика швидкість вимірювання і простота конструкції. Недоліки визначаються самим методом – неможливо виміряти складні об'ємні поверхні та внутрішні розміри.

Нині традиційні методи виміру залишаються найпоширенішими. Але якщо досить часто доводиться стикатися з вимірами складних розмірів та форм – варто подумати про використання контрольно-вимірювальної машини.

Приймаємо для вимірювання деталі лазерну контрольно-вимірювальну машину. Після встановлення деталі на столі машини включається лазерна

головка, яка здійснює контроль складної криволінійної внутрішньої поверхні форми, виводячи значення вимірюваних величин на дисплей. Після обробки отриманих даних, комп'ютер видає висновки про придатність деталі для подальшого використання.

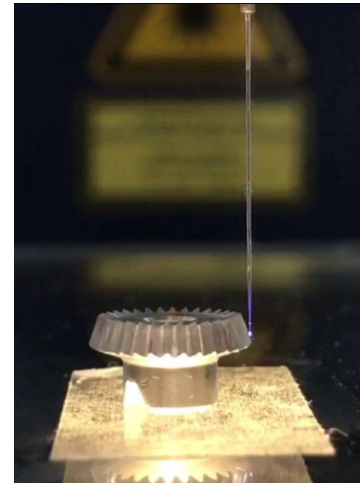


Рисунок 4.5 – Координатно-вимірювальна машина (КВМ) Werth

Приклад вимірювання конічного зубчастого колеса на класичній координатно-вимірювальній машині (КВМ) Werth

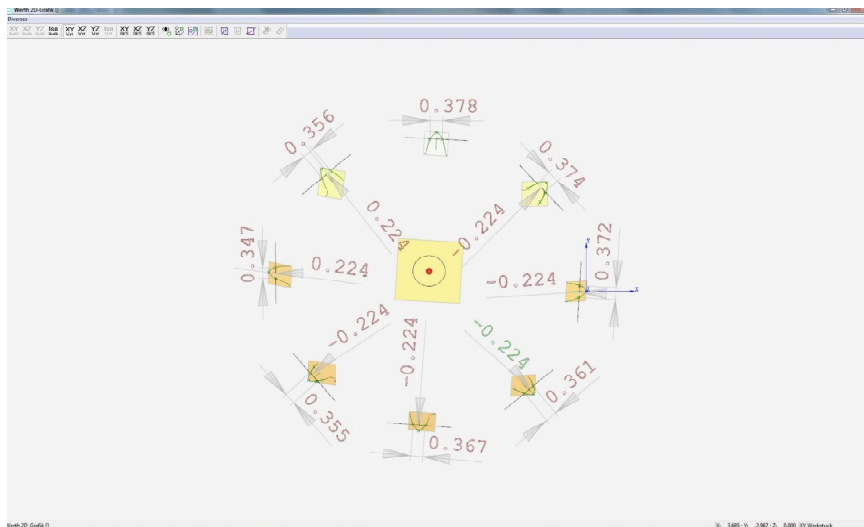


Рисунок 4.6 – Результати контролю зубчастого вінця

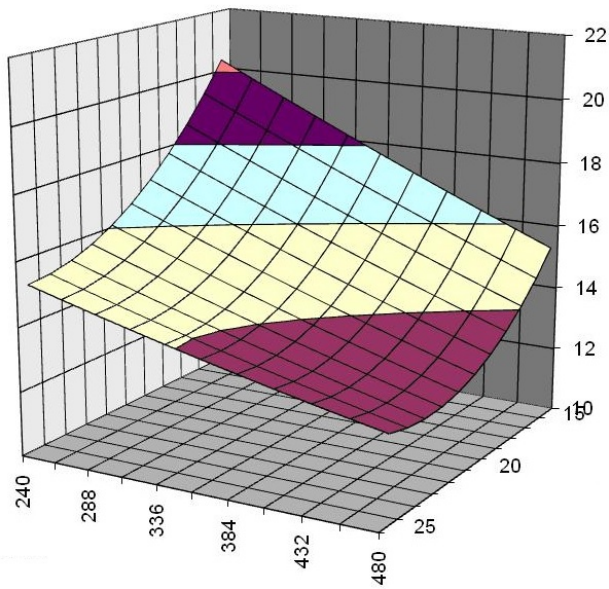


Рисунок 4.7 – Графік вимірювання поверхні евольвенти

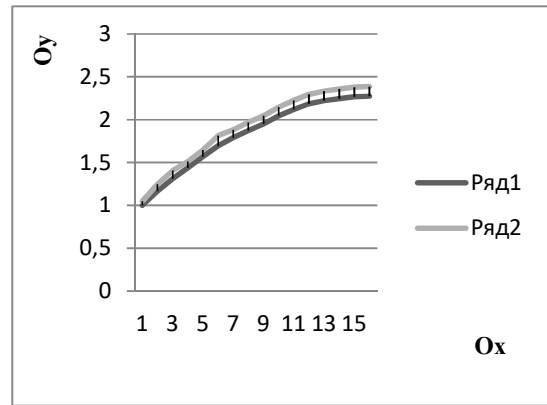


Рисунок 4.8 – Результати порівняння дійсного значення та експерименту: 1 – експерименту; 2 – дійсного значення.

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Чинники, що впливають на безпечну роботу механічного цеху

Розділ виконаний відповідно до завдання на проектування в умовах ТОВ «Ескорт».

Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю наступних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що супроводжують процес різання, які можуть вплинути на людину під час роботи в приміщенні даної ділянки:

- незадовільний висвітлення є однією з причин підвищеної втоми, особливо при напружених зорових роботах, тривала робота при недостатньому висвітленні призводить до зниження продуктивності праці, збільшення браку, підвищення ймовірності порушення зору;

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;

- виділення в повітря робочої зони аерозолів масел та мастильно-охолоджуючих рідин;

- підвищена або знижена температура робочої зони, коливання якої пов'язані з сезонними змінами стану атмосфери, що може призвести до дискомфорту робітника та зниження його уваги;

- ймовірність ураження електричним струмом при порушенні цілісності ізоляції струмопровідних проводів, що може призвести до різних електротравм з високою ймовірністю смертельного результату;

- фізичні навантаження, що виникають при встановленні, закріпленні та зніманні великогабаритних деталей, монотонність праці, що призводить до швидкої втоми, і підвищує ймовірність вчинення людиною неправильних дій, що тягнуть за собою виникнення різноманітних небезпечних ситуацій.

Вплив шкідливих виробничих факторів призводить до захворювання працюючого або зниження його працездатності. При певному рівні та тривалості впливу шкідливі виробничі фактори можуть стати небезпечними. Тому при нормуванні шуму та вібрації, параметрів мікроклімату, інтенсивності різних

випромінювань, характеристик інших факторів виробничого середовища зазвичай встановлюють такі діапазони (оптимальні та допустимі норми), перевищення яких веде до перших ознак порушення здоров'я.

## 5.2 Промислова санітарія

### 5. 2.1 Параметри мікроклімату

Однією з необхідних умов нормальної життєдіяльності людини є забезпечення нормальних метеорологічних умов у приміщеннях ділянки, які істотно впливають на теплове самопочуття людини.

Мікроклімат виробничих приміщень визначається поєднаннями температури, вологості, швидкості руху повітря, а також температурою навколишніх поверхонь, сезоном року, умовами опалення та вентиляції.

Людина постійно перебуває у процесі теплової взаємодії з довкіллям. Нормальний перебіг фізіологічних процесів в організмі можливий лише тоді, коли тепло, що виділяється організмом, безперервно відводиться в навколишнє середовище за рахунок конвекції, випромінювання, випаровування вологи з поверхні шкіри і нагріву повітря, що вдихається. Кількість теплоти залежить від ступеня фізичної напруги в певних кліматичних умовах. Параметри мікроклімату безпосередньо впливають на тепле самопочуття людини та її працездатність.

Переносність людиною температури також залежить і від вологості та швидкості навколишнього повітря. Чим більша відносна вологість, тим менше випаровується поту в одиницю часу, і тим швидше настає перегрів тіла. При тривалому перебуванні людей у закритих приміщеннях рекомендується обмежуватись відносною вологістю в межах 30-70%.

Відповідно до ДСТУ 7528:2014 Допоміжні засоби для особистої гігієни.

«Загальні санітарно-гігієнічні вимоги щодо повітря робочої зони», встановлюються значення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря для робочої зони виробничих приміщень залежно від категорій тяжкості виконуваних робіт.

На ділянці обробки деталі процеси різання: точіння, свердління, фрезерування та інші операції, супроводжуються пиловиділенням, інтенсивність якого залежить від оброблюваного матеріалу, виду інструменту та методу обробки.

За загальними енерговитратами на робочих місцях ділянка відноситься до категорії із середньою тяжкістю роботи II 2б (роботи пов'язані з ходьбою та перенесенням невеликих (до 10 кг) ваг).

Таблиця 5.1 — Оптимальні норми значень

Пора року	Категорія роботи	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря
Холодний і перехідний період	II б середньої важкості	17 ... 19	60 ... 40	0.3
Теплий період		20 ... 22		0.4

### 5.2.2 Опалення

Для підтримки в зимовий період відповідної санітарної норми температури в приміщенні цеху влаштовують повітряну завісу для захисту від прориву холодного повітря в приміщення через прорізи будівлі (ворота, двері тощо).

Повітряна завіса є повітряним струменем, спрямованим під кутом до холодного потоку повітря, вона виконує роль повітряного шибера, зменшуючи прорив холодного повітря через проріз. Відповідно до СНиП 2.04.05-91 повітряна завіса, встановлена біля прорізів опалювального приміщення, що відкривається не рідше одного разу на годину, або на 40 хвилин одночасно при температурі зовнішнього повітря -15°C і нижче. Швидкість виходу повітря із повітряної завіси дорівнює 5 м/с.

Крім централізованої системи повітряного опалення передбачаємо системи опалення повітряно-опалювальними агрегатами АО2. Агрегат складається з

осьового вентилятора К109-19 та сталевих пластинчастих повітрянагрівачів з плоскоовальними трубками, укладеними у загальний кожух.

У холодний період року у виробничих приміщеннях опалюваних будівель, коли вони не використовуються, і в неробочий час слід підтримувати температуру не менше  $+5^{\circ}\text{C}$ , забезпечуючи відновлення нормованої температури до початку використання приміщення.

### 5.2.3 Вентиляція

Для підтримки необхідних параметрів чистоти повітря та мікроклімату виробничого приміщення використовують різні види вентиляції.

Вентиляція — організований повітрообмін, що полягає у видаленні з робочого приміщення забрудненого або нагрітого повітря та подачі свіжого. Залежно від призначення вентиляція може бути припливною та витяжною. Витяжна вентиляція служить для видалення з приміщень забрудненого повітря та викиду його за межі цеху, а припливна — для подачі в приміщення чистого повітря замість віддаленого.

Залежно від способу переміщення повітря вентиляція може бути природною (аерація) та механічною.

Природна вентиляція здійснюється за рахунок різниці температур повітря в приміщенні та зовнішнього повітря (тепловий натиск), а також внаслідок дії вітру.

Природна вентиляція виробничих приміщень може бути неорганізованою та організованою. При неорганізованій вентиляції повітрообмін здійснюється за рахунок витіснення зовнішнім холодним повітрям через нещільності та пори зовнішніх огорож (інфільтрація), вікна, кватирки, спеціальні прорізи (провітрювання) теплого повітря.

Організована (піддається регулюванню) природна вентиляція виробничих приміщень здійснюється аерацією та дефлекторами. Дефлектори — це спеціальні насадки, що встановлюються на витяжних повітроводах і використовують енергію вітру. Дефлектори застосовують для

видалення забрудненого або перегрітого повітря із приміщень порівняно невеликого об'єму.

Природна вентиляція економічна, проста в експлуатації, але має істотні недоліки: по-перше, може застосовуватися там, де немає великих виділень шкідливих речовин; по-друге, припливне повітря надходить у виробничі приміщення необробленим: не підігрівається, не зволожується, не очищається. Механічна вентиляція усуває недоліки природної вентиляції. При механічній вентиляції повітрообмін досягається за рахунок напору, що створюється відцентровим або осьовим вентилятором..

Залежно від способу створення повітрообміну розрізняють місцеву та загальнообмінну вентиляцію. Загальнообмінна вентиляція застосовується, коли шкідливі речовини, теплота і волога виділяються поступово по всьому приміщенню. Місцева витяжна вентиляція, що вловлює шкідливі речовини у місці їх виділення, дозволяє значно скоротити повітрообмін у приміщенні.

Для повітрообміну в цеху пропонується використовувати комбіновану систему вентиляції — загальнообмінну з місцевою. Для асиміляції теплонадходжень, компенсації тепловтрат через зовнішні огорожі в холодну пору року використовуються розподільники повітря типу ВПРВ, суміщені з повітряним опаленням. Місцева вентиляція здійснюється за рахунок стандартних та нестандартних пристроїв (кожухи, лійки), розташованих безпосередньо на обладнанні. Забруднене повітря, що засмоктується, по системі повітроводів надходить у відцентрові вентилятори Ц.4-70, розташовані у вентиляційних камерах, і очищається за допомогою фільтрів.

Великих тепловиділень від верстатів, які застосовують у цьому цеху, немає. Тому спеціальні заходи щодо видалення нагрітого повітря не проводяться, а незначне тепло, що походить від них, вивітрюється через дверні та спеціальні отвори. Загалом приміщення цеху задовольняє вимоги ДСТУ 7528:2014 "Повітря робочої зони".

#### 5.2.4 Виробнича естетика

Основною метою виробничої естетики є досягнення естетичної досконалості трудової обстановки, що сприяє безпеці, вищій продуктивності праці та гарному настрою працюючих.

Розміщення металорізальних верстатів у цеху прийнято таким, щоб відстань між окремими верстатами була достатньою для вільного проходу робочих, зайнятих їх обслуговуванням та ремонтом. Ширина проходів та проїздів приймається не менше 0,8 м.

Проходи та проїзди утримуються в чистоті та порядку, їх межі позначені білою фарбою.

Робоче місце включає наступне приладдя: тумбочку верстатника для двозмінної роботи, у кожному відділенні якої зберігається інструмент постійного користування та засоби догляду за верстатом, приймальний стіл, дерев'яні ґрати під ноги.

Зовнішня поверхня машин має суцільний плавний контур, немає гострих кутів, западин тощо. У корпусі верстата приховані всі частини, що рухаються, що робить його обриси більш спокійними і приємними для ока. На гладких обтічних поверхнях немає скупчень пилу та бруду.

Панелі стін заввишки 2,5 м від підлоги забарвлені у зелений колір. Поверхні металорізальних верстатів пофарбовані фісташковою фарбою, а частини верстатів, що рухаються, світло-жовтою. Відкриті коробки пофарбовані в яскраво-червоний колір.

Допоміжне обладнання: тумбочки, шафи пофарбовані у світло-коричневий колір.

Очищення світильників на ділянці при помірній запиленості проводиться 5 разів на рік, але при відключеному живленні.

### 5.3 Заходи безпеки на ділянці обробки деталі

#### 5.3.1 Природне та штучне освітлення

Раціональна організація виробничого освітлення необхідна задля забезпечення комфортних умов праці. При недостатній освітленості та поганій якості освітлення стан зорових функцій знаходиться на низькому рівні, підвищується стомлюваність зору у процесі роботи. У зв'язку з цим виникає потреба у правильній організації як природного, так і штучного висвітлення.

Штучне освітлення застосовується для компенсації нестачі природного.

Природне освітлення може бути:

- бічним (віконні отвори розташовані у зовнішніх стінах);
- верхнім (світлові отвори розташовані у даху);
- суміщеним.

Штучне освітлення ділиться на загальне, місцеве та комбіноване.

Передбачається також аварійне, евакуаційне, охоронне та чергове освітлення.

Для штучного освітлення приміщення механічного цеху необхідно розрахувати кількість світильників.

Розрахунок штучного освітлення робочого місця здійснюється методом коефіцієнта використання світлового потоку:

Для визначення коефіцієнта використання світлового потоку знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

де  $A, B$  - розміри приміщення,  $A = 24\text{м}$ ,  $B = 6\text{м}$ ;

$h = H - h_c - h_p$  - розрахункова висота до світильника;

$H$  - висота приміщення,  $H = 12\text{м}$ ;

$h_p$  - висота стола;

$h_c$  - довжина зв'язу.

Для штучного освітлення приміщення вибираємо світильник Л201Б з несвітлопропускними боковинами, з пластмасовою екрануючою решіткою, з чотирма люмінесцентними лампами ЛБ-80 - потужністю 80 Вт. Висота підвісу світильника від стелі  $h_c = 2\text{м}$ ,  $h_p$  - висота робочої поверхні над підлогою.

$$h = 12 - 2 - 1 = 9 \text{ м} .$$

Коефіцієнти відображення:

– для плит перекриттів  $\rho_{пл} = 0,6$ ;

– для пофарбованих світлою фарбою стін  $\rho_{ст} = 0,7$ ;

– для темної підлоги  $\rho_{пол} = 0,1$ .

$$i = \frac{24 \cdot 6}{9 \cdot (24 + 6)} = 0,53 .$$

За допомогою індексу приміщення та коефіцієнтів відображення знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta = 0,61 \cdot 10^2 = 61$ .

Відстань між центрами вибирається із співвідношення

$L/h = 1,2 \dots 1,4$  , де  $h$  - відстань між центрами світильників .

$$L = 9 \times 1,2 = 10,8 \text{ м} .$$

Світловий потік лампи ЛБ - 80 потужністю 80 Вт -  $\Phi_l = 600$  лм.

Визначимо кількість світильників за формулою:

$$N = \frac{S}{L^2} = \frac{150}{10,8^2} = 1,58 \text{ шт} .$$

Приймаємо  $N = 2$  шт.

У світильнику Л201Б знаходяться чотири лампи. Визначимо світловий потік світильника:

$$\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta} , \text{ лм}$$

де  $E$  - задана мінімальна освітленість, для V розряду зорових робіт

$$E = 100 \text{ лк};$$

$K_3$  - коефіцієнт запасу для люмінесцентних ламп,  $K_3 = 1,5$ ;

$S$  - освітлювана площа,  $S = 150 \text{ м}^2$ ;

$Z$  - відношення середньої освітленості до мінімальної, що характеризують нерівномірність освітлення, для люмінесцентних ламп,  $Z = 1$ ;

$N$  - кількість світильників;

$\eta$  - коефіцієнт використання.

$$\text{Тоді, } \Phi = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 150 \cdot 1,1}{2 \cdot 61} = 351 \text{ лм} .$$

Для штучного освітлення ділянки необхідно 2 світильники типу Л201Б зі стартерною схемою запалювання. Довжина світильника Л201Б – 1,275м, ширина – 0,775м.

Визначаємо потужність світильників за формулою:

$$\sum P = P \cdot h,$$

де  $P$  - потужність однієї лампи, Вт;

$h$  – кількість світильників, шт.

$$\sum P = 80 \cdot 2 = 160 \text{ Вт.}$$

Встановлення місцевого освітлення вирішується щоразу індивідуально. Від правильного вибору місця кріплення світильника та напрямку світлового потоку залежить якість освітлення робочого місця.

### 5.3.2 Боротьба з шумом та вібрацією

Вібрація відноситься до факторів, що мають високу біологічну активність. Вона небезпечно впливає на окремі органи тіла та організм людини в цілому, викликаючи вібраційну хворобу. Також вібрація руйнівно діє на машини, обладнання та виробничі будівлі.

Гігієнічне нормування вібрацій регламентує параметри виробничої вібрації та правила роботи з вібронебезпечними механізмами та обладнанням, «ССБТ. Вібраційна безпека. Загальні вимоги», Санітарні норми СН 2.2.4/2.1.8.556-96 «Виробнича вібрація, вібрація у приміщеннях житлових та громадських будівель». Нормованими параметрами є середні квадратичні значення вібронебезпеки  $V$  та його логарифмічні рівні  $L_v$ .

Відповідно до вимог проектування промислових підприємств для боротьби з вібрацією на ділянці обробки дисків застосовані такі способи:

- динамічне гасіння вібрації здійснюється шляхом встановлення агрегатів на фундаменти;
- збільшення жорсткості системи (введення ребер жорсткості);

- застосування засобів індивідуального захисту (рукавиці, рукавички, віброзахисні пластини) при роботі з ручним механізованим інструментом, застосовується спецвзуття.

Інтенсивний шум на виробництві сприяє зниженню уваги та збільшенню числа помилок при виконанні роботи, виключно сильний вплив надає шум на швидкість реакції, збирання інформації та аналітичні процеси, через шум знижується продуктивність праці та погіршується якість роботи. Шум ускладнює своєчасну реакцію працюючих на попереджувальні сигнали транспорту всередині ділянки (автовантажувачів, мостових кранів), що сприяє виникненню нещасних випадків на виробництві.

Нормовані параметри шуму на робочих місцях визначені ДСТУ 2867-94 та Санітарними нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на робочих місцях, у приміщеннях житлових, громадських будівель та на території житлової забудови». Загальний рівень звукового тиску не повинен перевищувати 85 дБ. Основними джерелами шуму більшості металорізальних верстатів є приводи, електродвигуни та ріжучий інструмент у процесі роботи. Шумові характеристики обладнання:

Токарний з ЧПУ DMG MORI NLX 2500 – 83 дБ,

Верстат PFAUTER RS 200 - 83 дБ,

Вертикально – фрезерний 6P11 – 32 дБ,

На ділянці рівень шуму вбирається у 85дБ, що у допустимих межах і викликає психічні і фізіологічні порушення в працюючих.

Робота на металорізальних верстатах вимагає свободи маніпулювання в робочій зоні верстата (установка та закріплення заготовки, вимірювання деталі в процесі обробки, видалення стружки, зміна інструменту). Це виключає застосування звукоізолюючих кожухів. Основними шляхами зниження вібрацій та шуму металорізальних верстатів на ділянці є: застосування високоякісних підшипників, малошумних зубчастих передач та електродвигунів, дотримання технологічної дисципліни при складанні вузлів верстата, застосування раціональних конструкцій різального інструменту та пристроїв, жорсткість їх

кріплення. Як індивідуальні пристрої для захисту органів слуху робітники на ділянці користуються вкладишами і навушниками.

Оскільки на ділянці обробки деталі працюють кілька верстатів, то приміщенні відбувається деяке посилення шуму.

Визначається сумарний рівень шуму від шести верстатів із рівнями 83, 83, 40, 32, 50, 45дБ.

Знайдемо площу облицювання з пінопласту з відкритими порами з коефіцієнтом звукопоглинання  $\alpha_{обл} = 0,57$ ;  $f = 1000$  Гц в приміщенні з розмірами  $H = 12$  м ;  $A = 24$  м ;  $B = 6$  м (об'єм приміщення  $1728$  м<sup>3</sup>).

Розрахунок  $\Delta L_{mp}$  виробляють у кожній із восьми активних смуг. Знайдені величини рівнянь порівнюємо з допустимими за нормами  $L_{доп}$  і визначаємо потрібне зниження шуму (дБ):

$$\Delta L_{mp} = L - L_{доп}.$$

$$L_1 - L_2 = 85 - 83 = 2дБ.$$

За таблицею 6.1 [23] поправка  $\Delta L = 2,2$  дБ, отже, сумарний рівень шуму двох віддалених джерел шуму:

$$L_{общ} = 88 + 2,2 = 90,2дБ.$$

$$\Delta L_{mp} = 90,2 - 88 = 2,2 \text{ дБ (125 Гц)};$$

$$\Delta L_{mp} = 90,2 - 82 = 8,2 \text{ дБ (250Гц)};$$

$$\Delta L_{mp} = 90,2 - 79 = 11,2 \text{ дБ (500Гц)};$$

$$\Delta L_{mp} = 90,2 - 76 = 14,2 \text{ дБ (1000Гц)};$$

Середній коефіцієнт звукопоглинання внутрішніх поверхонь площею 4480 м<sup>2</sup> до установки облицювання з площею  $S_{обл}$ :

$$\alpha = \frac{\frac{B}{S_{орг}}}{\left(\frac{B}{S_{орг}}\right) + 1} = \frac{\frac{300}{1840}}{\left(\frac{300}{1840}\right) + 1} = 0,14.$$

де  $B = 300$  м<sup>2</sup> – постійне приміщення.

За номограмою  $\Delta A_{тр} = 9000$  м<sup>2</sup>, тоді

$$S_{обл} = \frac{\Delta A_{тр}}{\alpha_{обл}} = \frac{9000}{0,57} = 15789 \text{ м}^2.$$

У цьому випадку найбільш раціонально розмістити облицювання на стінах та стелі приміщення.

### 5.3.3 Електробезпека

Проходячи через організм людини, електропотік справляє термічну, електролітичну, механічну та біологічну дію. Характерними видами електричних травм є електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічні пошкодження та електроортальмія.

Допустимим вважається струм, при якому людина може самостійно звільнитися від електричного кола.

При гігієнічному нормуванні ГОСТ 12.1.038-95 встановлює гранично-допустиму напругу дотику та струму. Протікаючі через тіло людини (рука-рука, рука-нога) при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановок виробничого та побутового призначення постійного та змінного струму частотою 50 та 40 Гц.

Відповідно до вимог правил улаштування електроустановок опір захисного заземлення в будь-який час року не повинен перевищувати 4 Ом – в установках напругою до 1000 В.

Стікання струму в землю відбувається тільки через провідник, що знаходиться в безпосередньому контакті із землею.

Розрахунок опору заземлювального пристрою для токарного верстата з ЧПУ 16К20Ф3.

Розрахунок ведеться за методикою, запропонованою у довідковій літературі.

Вихідні дані: довжина заземлювача  $l = 2,5$  м; діаметр заземлювача  $d=0,05$  м; глибина розміщення геометричного центру від поверхні

$H = 0,7$ м; ґрунт – суглинок.

Опір природних заземлювачів визначаємо за формулою

$$R_{\lambda} = \frac{\rho}{2\pi l} \times \left( \lambda n \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lambda n \frac{4H + l}{5H - l} \right),$$

де  $\rho$  - розрахунковий опір ґрунту, Ом;

$l = 2,5$  м - довжина заземлювача;

$d = 0,05$  м - діаметр заземлювача;

$H = 0,7$  м – глибина розміщення геометричного центру заземлення від поверхні.

Визначимо розрахунковий опір ґрунту:

$$\rho = \rho_{\text{изм}} \times \psi = 40 \times 1,5 = 60 \text{ Ом},$$

де  $\rho_{\text{изм}} = 40$  Ом –питомий опір ґрунту, виміряний;

$\psi = 1,5$  – кліматичний коефіцієнт (при середній вологості ґрунту).

$$R_{\lambda} = \frac{60}{2 \times 3,14 \times 2,5} \left( \lambda n \frac{2 \times 2,5}{0,05} + \frac{1}{2} \lambda n \frac{4 \times 0,7 + 2,5}{5 \times 0,7 - 2,5} \right) = 21 \text{ Ом}.$$

Приблизна кількість заземлювачів:

$$n_{\text{пр}} = \frac{R_e}{R_{\text{дон}}} = \frac{21}{4} = 5,25 \text{ шт},$$

де  $R_{\text{дон}} = 4$  Ом –максимальний додатковий опір заземлювального пристрою.

Повна кількість заземлювачів:

$$n_{\text{моч}} = \frac{R_e}{R_{\text{дон}} \eta_{\text{см}}} = \frac{21}{4 \times 0,72} = 5,25 \text{ шт},$$

де  $\eta_{\text{см}} = 0,72$  –коефіцієнт використання заземлювача з труб.

Приймаємо  $n = 8$  шт.

Довжина сполучної смуги:

$$L = a(n - 1) = 2,5(8 - 1) = 17,5 \text{ м}.$$

Опір сполучної смуги:

$$R_{\lambda} = \frac{\rho}{2\pi L} \lambda n \frac{2L^2}{bt_0} = \frac{60}{2 \times 3,14 \times 17,5} \times \lambda n \frac{2 \times 17,5^2}{0,05 \times 1} = 5,1 \text{ Ом},$$

де  $b = 0,05$  м – ширина сполучної смуги;

$t_0 = 1$  м – глибина, де розташована сполучна смуга.

Загальний опір заземлювального пристрою:

$$R_{\text{з.у.}} = \frac{1}{\frac{n \eta_{\text{см}}}{R} + \frac{\eta_n}{R_n}} = \frac{1}{\frac{5 \times 0,72}{21} + \frac{0,64}{5,1}} = 3,3 \text{ Ом},$$

де  $\eta_n = 0,67$  – коефіцієнт випробування сполучної лінії.

Умова  $R_{з,y} < R_{доп}$  , 3,3 Ом < 4 Ом, виконується, отже, заземлювальний пристрій можна використовувати як захисний заземлювач. Всі верстати, розташовані на ділянці, приводяться в дію електродвигунами, тому існує небезпека ураження електричним струмом.

Відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 всі верстати та агрегати мають робочу ізоляцію струмопровідних частин, заземлення, автоматичне відключення, запобіжники, огороження струмопровідних частин.

Електродвигуни – пристрої закритого типу, що унеможлиблює дотик до деталей під напругою.

При обслуговуванні електроустановок застосовані такі заходи безпеки: діелектричні рукавички, боти або калоші, діелектричні килимки або підставки, інструмент з рукоятками струмоізолюючими.

#### 5.4 Безпека у НС. Пожежна безпека

У виробничих умовах найпоширенішими джерелами займання є:

- а) іскри, що утворюються при коротких замиканнях;
- б) пробою ізоляції;
- в) куріння на робочому місці;
- г) використання відкритого вогню у приміщенні;
- д) використання несправних електроприладів.

Пожежовибухонебезпечність виробництва визначається параметрами пожежонебезпеки та кількістю матеріалів і речовин, що використовуються в технологічних процесах, режимами роботи верстатів, наявністю можливих джерел запалення та умов для швидкого поширення вогню у разі пожежі.

Згідно з НПБ 105-95 всі об'єкти відповідно до характеру технологічного процесу з вибухопожежної та пожежної небезпеки поділяються на 5 категорій. Категорія будівлі ділянки обробки дисків – Д; ступінь вогнестійкості будівлі І згідно зі СНиП 21.01-97.

Запобіжні заходи:

- використання прихованої проводки для живлення апаратури;
- застосування в ланцюгах живлення автоматичного вимкнення;
- регулярний інструктаж працюючих;
- контроль за станом електрообладнання та своєчасне усунення його несправності;
- заборона куріння на робочому місці;
- допуск до електроустаткування лише осіб, знайомих із правилами його експлуатації.

Засоби пожежогасіння:

- вогнегасники ОУ-5, ОУ-8;
- ящик із піском;
- кран пожежного водопроводу, що розташований на території ділянки.

В якості техніки призначена для захисту різних об'єктів від пожежі застосовується засіб сигналізації. Пожежна сигналізація швидко та точно повідомляє про пожежу з місця її виникнення. На ділянці використовуються автоматичні теплові пожежні сповіщувачі, які включаються за зміни параметрів навколишнього середовища в момент виникнення пожежі.

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розроблено механічний цех із детальним проектуванням ділянки виготовлення деталі «Шестерня конічна». Запропоновано прогресивний варіант отримання заготовки, що перевершує традиційний заводський метод.

Розроблено технологічний процес механічної обробки деталі з використанням високопродуктивних багатоцільових верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК). Це дозволило сконцентрувати всі етапи обробки на трьох верстатах, що є особливо актуальним для автоматизованого виробництва.

Для обробки деталі запропоновано сучасні конструкції ріжучих інструментів, оснащених пластинами із твердого сплаву з зносостійкими покриттями. Це дало змогу підвищити режими різання та знизити трудомісткість виготовлення деталі на 21%.

В організаційній частині проекту уточнено тип виробництва, вибрано систему організації роботи ділянки та розраховано параметри виробничого процесу для обраної системи. В економічній частині виконано розрахунки вартості основних фондів цеху, кошторису цехових витрат і калькуляції собівартості продукції. Реалізація запропонованих у проекті технологічних, конструкторських та організаційно-економічних рішень дозволила знизити собівартість деталі на 18%.

У проекті також розглянуто питання забезпечення безпеки життєдіяльності. Розроблено заходи, спрямовані на створення безпечних умов праці, зокрема у надзвичайних ситуаціях.

Результати проекту свідчать про ефективність впроваджених рішень, що сприяють підвищенню продуктивності, зниженню витрат і поліпшенню умов праці на виробництві.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія машинобудування. Навчальний посібник / За ред. І. І. Юрчишина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. 528 с.
2. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Технологічні основи машинобудування» (для студентів напрямку підготовки 6.050502«Інженерна механіка»). / Укладачі: Бабенко М.О., Горячева Т.В. Красноармійськ, Видавництво Красноармійського індустріального інституту, 2009. 67 с.
3. Технологія машинобудування. Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт: Навчальний посібник / Юрчишин І.І. та ін. Видавництво НУ «Львівська політехніка». 2009. 528 с.
4. Гевко Б.М. Технологія обробки на верстатах з ЧПК: Навчальний посібник. [Текст] / Гевко Б.М., Матвійчук А.В. Тернопіль: ТДТУ, 2004. 131 с.
5. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. 386 с.
6. Залога В.О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник / В.О. Залога, О.О. Залога, В.Д. Гончаров; за загальн. ред. В.О. Залого. Суми: Сумський державний університет, 2013. 371 с.
7. Родін П.Р. і др. Металорізальні інструменти. В 2-х ч. / П.Р. Родін, Ю.М. Бугай, Н.С. Равська, В.І. Солодкий. Київ, «Вища школа», 1993. Ч.1. 226 с., іл.
8. Данюк В. М., Абрамов В. М. Нормування праці. К.: ВІПОЛ, 1995. 465 с.
9. Кирилович В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПК. / В. А. Кирилович, П. П. Мельничук, В. А. Яновський ; під заг. ред. В. А. Кириловича. Житомир : ЖІТІ, 2001. 600 с.

10. Гордєєв А.І., Урбанюк Є.А., Безносів А.Є., Мігаль В.Г. Курсове та дипломне проектування для технології машинобудування та металорізальних верстатів. Навчальний посібник, ХНУ, 2005, 300 с.
11. Гордєєв А. І. Урбанюк Є.А., Сілін Р.С. Збірник задач з проектування технологічного оснащення: Навчальний посібник. Хмельницький: ХНУ 2013. 159 с., іл.
12. Сторож Б. Д., Карпик Р. Т., Гордєєв А. І. Точність верстатних пристроїв машинобудівного виробництва: Навчальний посібник / За ред. Р.Т. Карпика. Хмельницький: ХДУ, 2003. 222 с., іл.
13. Железна А.М., Кирилович В.А. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: Навчальний посібник. К.: Кондор, 2004. 796 с.
14. Контрольна робота з дисципліни "Проектування контрольно-вимірювальних пристроїв" Вінниця, 2015. 13 с.
15. П.А. Лінчевський та ін.. Обробка деталей на обробно-розточувальних верстатах / П.А. Лінчевський, Т.Г. Джугурян, О.А. Оргіян, за заг. ред.. П.А. Лінчевського. – К.: Техніка, 2000. – 300с. ISBN 966-575-048-8
16. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. Підручник. Львів. Афіша 2004. 248 с.
17. Катренко Л. А., Пістун І. П. Охорона праці в галузі освіти. Суми: Університетська книга, 2001. 345 с.
18. SANDVIK COROMAT [Електронний ресурс] // [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com). 2021. Режим доступу до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/ruru/products/pages/technologies.aspx#inveio>.
19. <http://ecat.secotools.com/>